

Redes de Acesso

Parte F - Redes de Acesso Rádio

Mário Serafim Nunes
IST, Março 2005

1	INTRODUÇÃO.....	2
2	PROPAGAÇÃO RÁDIO	4
2.1	Atenuação relacionada com a distância	4
2.2	Desvanecimento lento	4
2.3	Desvanecimento rápido	5
2.4	Difracção.....	6
2.5	Reflexão	7
3	TECNOLOGIAS DE ACESSO VIA RÁDIO	8
3.1	Gamas de frequências usadas em redes fixas sem fios.....	8
3.2	Actividades de normalização em WLL	10
3.2.1	Normalização ETSI.....	10
3.2.2	Classificação de tecnologias WLL.....	12
3.3	DECT em redes de acesso sem fios.....	12
3.4	Sistemas celulares.....	13
3.5	Tecnologia LMDS	13
3.5.1	Introdução	14
3.5.2	Modelo de referência para serviços interactivos	15
4	IEEE 802.16.....	17
4.1	Introdução	17
4.2	Modelo de referência	18
4.3	Camada Física	18
4.3.1	Camada física para 10-66 GHz.....	19
4.3.2	Técnicas de Duplex	20
4.3.3	Camada física descendente.....	21
4.3.4	Camada física ascendente.....	22
4.4	Camada MAC	24
4.4.1	Sub-camada de Convergência CS	24
4.4.2	Subcamada de parte comum (CPS)	28
4.4.3	Subcamada de Privacidade.....	41
	REFERÊNCIAS	42
	ACRÓNIMOS	43

1 Introdução

A linha de assinante sem fios, em inglês *Wireless Local loop* (WLL), consiste na utilização de uma ligação rádio para proporcionar uma conexão telefónica para a residência do utilizador. Actualmente o cenário é mais complexo porque as ligações sem fios têm de suportar um conjunto de requisitos entre os quais se inclui a mobilidade, uma vez que actualmente a WLL é aplicável numa diversidade de ambientes (doméstico, pequenas empresas, médias/grandes empresas) e igualmente porque a gama de serviços de telecomunicações a suportar está em crescimento contínuo.

A figura 1.1 apresenta um diagrama simples da utilização de WLL numa rede de acesso. Na parte superior da figura as residências são ligadas por par entrançado a um ponto de distribuição e daí a uma central local através de cabos multi-par, designados por troncas (*trunks*). Na parte inferior da figura a ligação entre as casas dos utilizadores e o ponto de distribuição faz-se usando WLL.

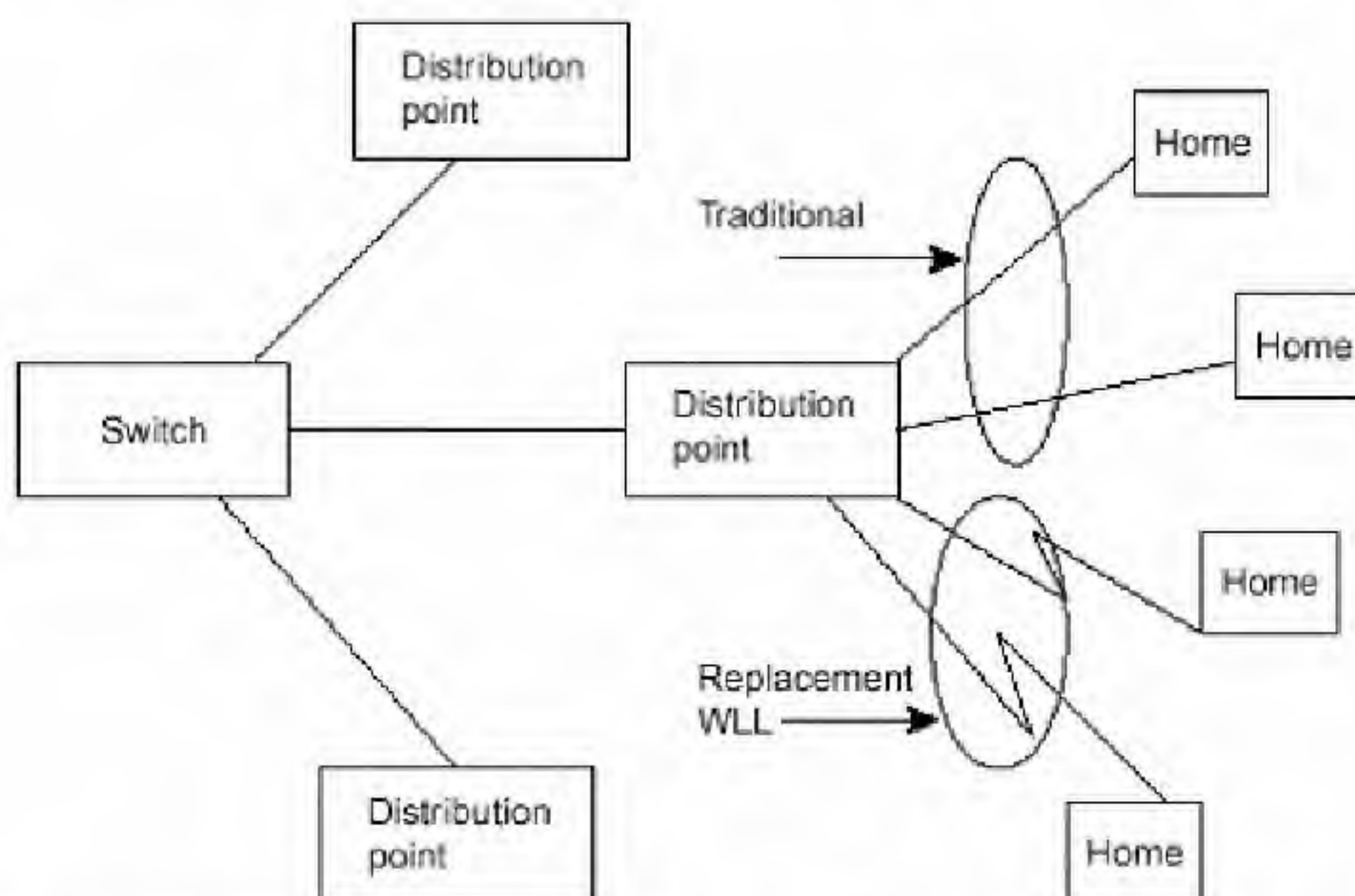


Figura 1.1 - WLL em substituição de par entrançado na linha de assinante

Historicamente a linha de assinante era baseada em cabos de cobre enterrados no solo ou suspensos em postes, sendo geralmente agregadas em cabos multi-pares. Como se observa na figura anterior, o WLL apenas substitui a secção de linha de assinante de cobre por uma ligação rádio, mantendo inalteradas as restantes secções da rede.

Num sistema WLL o ponto de distribuição está ligado a um transmissor rádio, sendo o receptor montado em geral na parede da casa do assinante, de modo semelhante ao de uma antena de satélite, existindo um cabo que liga a antena exterior a um receptor no interior da casa, ao qual se liga o equipamento receptor usual, o telefone, fax, modem, etc.

A utilização de rádio em vez do cabo de cobre tem várias vantagens, nomeadamente é menos dispendioso instalar uma ligação rádio do que instalar um cabo no subsolo através das ruas, é mais rápido de instalar e as unidades rádio podem permanecer instaladas só enquanto o utilizador pretender o serviço, ao contrário dos cabos de cobre, os quais são normalmente instalados quando as casas são construídas, não sendo viável a sua remoção quando as casas não estão ocupadas.

Com todas estas vantagens pode-se questionar porque se utiliza cobre na maioria das linhas de assinante. A principal razão deve-se ao facto de a grande maioria das tecnologias de transmissão rádio ser recente e o equipamento rádio ser mais dispendioso do que o da rede fixa,

uma situação que se está a alterar nos últimos anos, em especial a partir de 1992, data a partir da qual a tecnologia rádio começou a tornar-se uma tecnologia alternativa ao cobre para a rede de acesso.

A sigla WLL (Wireless Local Loop) é como vimos a concatenação dos termos *wireless* (sem fios) e “local loop” (linha de assinante). A abreviatura WiLL usada por alguns fabricantes como a Motorola tem o mesmo significado que WLL, a utilização de ligação sem fios (rádio) na linha do assinante. Outras siglas utilizadas com o mesmo significado de WLL são o RFA (*Radio Fixed Access*), FRA (*Fixed Radio Access*) e RLL (*Radio in the Local Loop*). O ETSI utiliza o termo FWA (*Fixed Wireless Access*).

Em Portugal a designação correspondente a FWA é Acesso Fixo Via Rádio.

Na tabela 1.1 lista-se a ocupação em frequência de algumas tecnologias rádio mais usadas.

Tabela 1.1 - Tecnologias rádio

Tecnologia	Gama de Frequência
GSM (2 ^a geração móvel)	880-890 MHz
DCS 1800	1710-1785 MHz; 1805-1880 MHz
DECT	1880-1900 MHz
IMT 2000 / UMTS (3 ^a geração móvel)	1900-2025 MHz e 2110-2200 MHz
ISM	2400-2500 MHz
FW A	3,6 -3,8 GHz - blocos de 2x28 MHz 24,5-26,5 GHz - blocos de 2x56 MHz 27,5-29,5 GHz - blocos de 2x175 MHz
LMDS	40,5-43,5 GHz
IEEE 802.16	10-66 GHz 2-11 GHz

2 Propagação Rádio

A propagação rádio tem um papel chave nos sistemas WLL, uma vez que é por este meio que os sinais são transmitidos entre a estação base e a estação terminal (utilizador). A propagação que se consegue atingir limita o alcance da estação base e portanto a dimensão da célula respectiva, podendo portanto requerer mais bases se o alcance for mais reduzido. Os fenómenos da propagação podem fazer que algumas estações terminais numa célula sejam incapazes de obter um sinal satisfatório, por outro lado a propagação faz com que algumas frequências sejam mais convenientes que outras. Abordaremos de seguida os vários aspectos que caracterizam a propagação rádio, fundamentais para a operação dos sistemas WLL.

No planeamento de redes rádio considera-se que a atenuação do sinal é devida a três factores principais:

- A atenuação relacionada com a distância
- Desvanecimento lento (*slow fading*)
- Desvanecimento rápido (*fast fading*)

2.1 Atenuação relacionada com a distância

A atenuação relacionada com a distância expressa-se simplesmente no facto de à medida que a distância à estação aumenta a potência do sinal diminui. A redução na amplitude do sinal é causada pelo facto de o sinal se espalhar a partir da fonte como uma superfície de uma esfera (se a antena for isotrópica). Como a área da superfície é proporcional ao quadrado do raio, a potência do sinal é proporcional a $1/d^2$, onde d é a distância ao emissor. Contudo as medidas efectuadas nos sinais de rádio móveis mostram que na prática as diminuições da potência do sinal cai mais rapidamente do que $1/d^2$. Os valores típicos usados frequentemente para calcular a propagação em rádio móvel são de $1/d^{3.5}$ ou de $1/d^4$, dependendo do modelo usado.

As razões para essa atenuação mais rápida no sinal são as seguintes:

- A presença da terra interfere com a expansão de uma superfície esférica, tendo por resultado somente um hemisfério. O condutividade e a reflectividade da terra determinam de que modo e com que extensão a propagação é afectada.
- Os sinais são atenuados pela vegetação e pelos edifícios e as perdas associadas com a passagem por ou em torno deles tende a aumentar o expoente na expressão da propagação.

No caso de WLL na maioria dos casos a propagação é por linha de vista directa (*line-of-sight*, *LOS*), logo não se aplicam os factores acima referidos, pelo que normalmente a atenuação é proporcional a $1/d^2$.

2.2 Desvanecimento lento

Desvanecimento lento (*slow fading*) é um fenómeno de rádio móvel causado por exemplo pela passagem de um móvel atrás de um edifício. Durante o período em que o móvel está atrás do edifício o sinal recebido é reduzido. Ao longo da condução em estrada, se o móvel passar atrás de um conjunto de edifícios isso causa uma redução da potência do sinal, ou um desvanecimento de modo relativamente lento. Este fenómeno não é directamente aplicável a WLL, porque o receptor não se move, mas se entre os receptores e o emissor houver sombras, poderá verificar-se este fenómeno.

2.3 Desvanecimento rápido

O desvanecimento rápido (*fast fading*) é um outro fenómeno que ocorre em redes móveis rádio. É causado pela chegada do sinal ao receptor através de múltiplos trajectos. Se dois sinais forem recebidos no móvel, em que um passa directamente da base para o móvel através de um trajecto directo de linha de vista e o outro é reflectido por um edifício por detrás do móvel, como se mostra na figura 3.1, ao móvel chega um sinal que é composto por aqueles dois sinais. O sinal reflectido viajou por um trajecto ligeiramente mais longo que o sinal directo e portanto está atrasado ligeiramente em relação ao sinal directo. O resultado deste atraso é que a fase do sinal reflectido difere da fase do sinal transmitido. O valor do atraso é dado pela diferença da distância multiplicada pela velocidade de luz. A diferença de fase é este valor multiplicado pela frequência de transmissão.

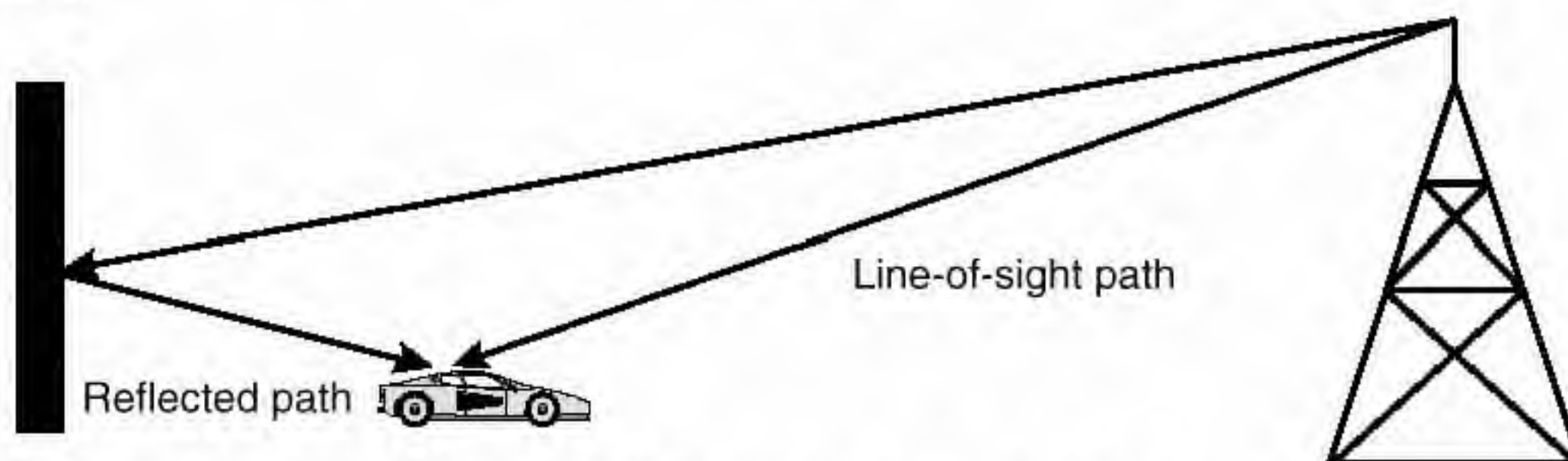


Figura 3.1 Propagação multi-caminho

O desvanecimento rápido pode ser melhor compreendido por um exemplo. Supondo que o percurso reflectido é 10 m superior ao percurso directo, como a velocidade da luz no ar é aprox. 3×10^8 m/s, pelo percurso reflectido o sinal leva mais 30 ps a chegar ao móvel. Se a frequência da transmissão for 3 GHz, um ciclo da onda nessa frequência é de 0,3 ps, pelo que a onda reflectida é atrasada 100 ciclos em relação à onda directa. Cada distância adicional de 10 cm atrasa a onda em mais um ciclo da portadora.

Quando a onda reflectida é atrasada por um múltiplo exacto de um ciclo da onda portadora, diz-se que os dois sinais recebidos estão em fase e os dois sinais somam-se, de modo que o sinal total recebido tem duas vezes a amplitude do sinal directo. Quando a onda reflectida é atrasada de um múltiplo mais meio-ciclo, diz-se que os dois sinais estão em oposição de fase e cancelam-se exactamente, isto é, nesse ponto o móvel perde completamente o sinal recebido. Deslocando-se apenas meio comprimento de onda, neste caso 5 cm, o móvel move-se de uma posição onde a amplitude do sinal é dupla do sinal directo para outra onde o sinal recebido é nulo. Este fenómeno repete-se continuamente à medida que o móvel se desloca, o que origina que o sinal desvanece e recupera rapidamente, dando origem ao nome. Na vida real há muito mais que apenas um único trajecto do sinal reflectido, pelo que o fenómeno do desvanecimento é mais complexo. Na figura 3.2 mostra-se a forma de onda de um desvanecimento típico, denominado de Rayleigh, que foi o matemático que desenvolveu as estatísticas que podem ser usadas para descrever esta forma de onda. Pode-se ver num período de 1 segundo a ocorrência de vários desvanecimentos, alguns tão profundos quanto 40 dB.

Uma dificuldade adicional ao desvanecimento rápido tem a ver com reflexões em objectos distantes, por exemplo numa montanha afastada. Se o atraso do sinal reflectido for muito grande pode ser superior ao tempo de transmissão de um bit de informação, pelo que quando o sinal reflectido chegar, transporta informação diferente do sinal directo. O resultado é que o bit transmitido anteriormente (ou símbolo), interfere com o símbolo actual, gerando um fenómeno conhecido como interferência inter-simbólica (*inter symbol interference*, ISI).

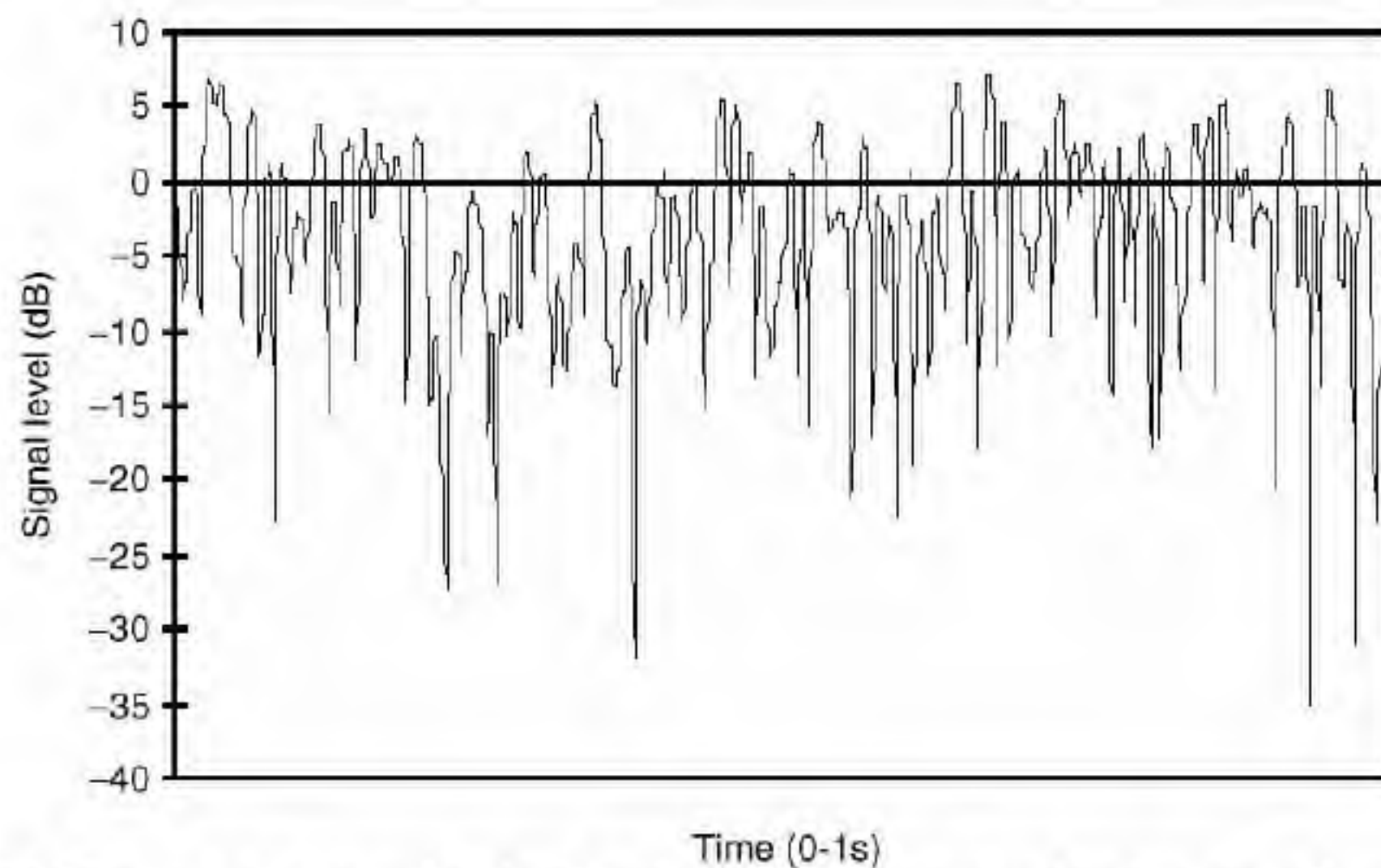


Figura 3.2 Desvanecimento de Rayleigh para um móvel em andamento a pé

O desvanecimento rápido é pouco relevante para WLL pois para sistemas em linha de vista os sinais reflectidos tendem a ser muito mais fracos do que o sinal directo, pelo que o efeito do cancelamento é mínimo. Somente quando o trajecto principal é sombreado é que o desvanecimento rápido pode provavelmente ser um problema.

2.4 Difracção

Em redes móveis a existência de LOS entre a base e o terminal móvel é pouco usual, contudo os sistemas WLL são projectados de modo a que a LOS seja frequente. Isso deve-se ao facto de nas elevadas frequências usadas em WLL, as ondas de rádio não difractarem bem em torno dos obstáculos, pois para frequências elevadas os obstáculos tendem a bloquear mais o sinal, tendo como resultado uma maior atenuação do sinal. Isto não é problemático para WLL porque os equipamentos receptores podem ser colocados nos telhados dos edifícios, onde é provável ter linha de vista. Apesar dos comentários anteriores acerca da necessidade de LOS, os sinais rádio usados em WLL têm alguma capacidade limitada de difracção, o que juntamente com as reflexões podem frequentemente fornecer um nível adequado do sinal.

A difracção é um fenómeno causado pelo facto que as ondas electromagnéticas se propagarem como se cada ponto da frente de onda gerasse uma onda nova, como se exemplifica na figura 3.3.

Quando a onda passa pelo alto de um edifício, são emitidas ondas em todos os sentidos, incluindo as direcções que não estão em linha de vista, contudo quanto mais afastado do trajecto de LOS, mais fraco é o sinal. A extensão da difracção depende de dois parâmetros, o ângulo de difracção (isto é, o ângulo com que o trajecto necessita "se dobrar" enquanto passa o alto do edifício que obscurece o receptor para chegar no receptor) e a frequência da onda de portador.

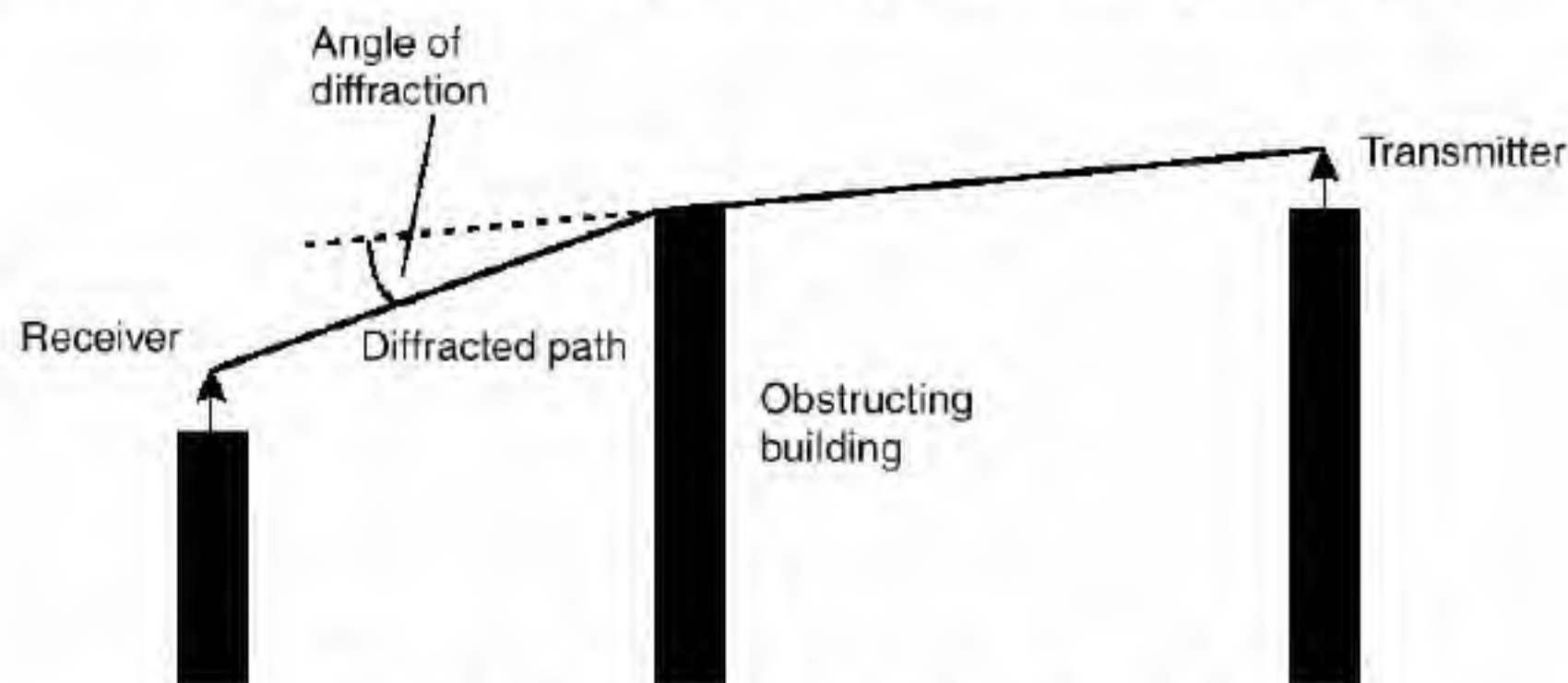


Figura 3.3 - Exemplo de difracção

Quanto maior o ângulo, mais baixo o sinal recebido e quanto mais elevada a frequência mais baixo o sinal recebido. A figura 3.4 mostra como a potência do sinal difractado para um determinado ângulo de difracção varia com a frequência.

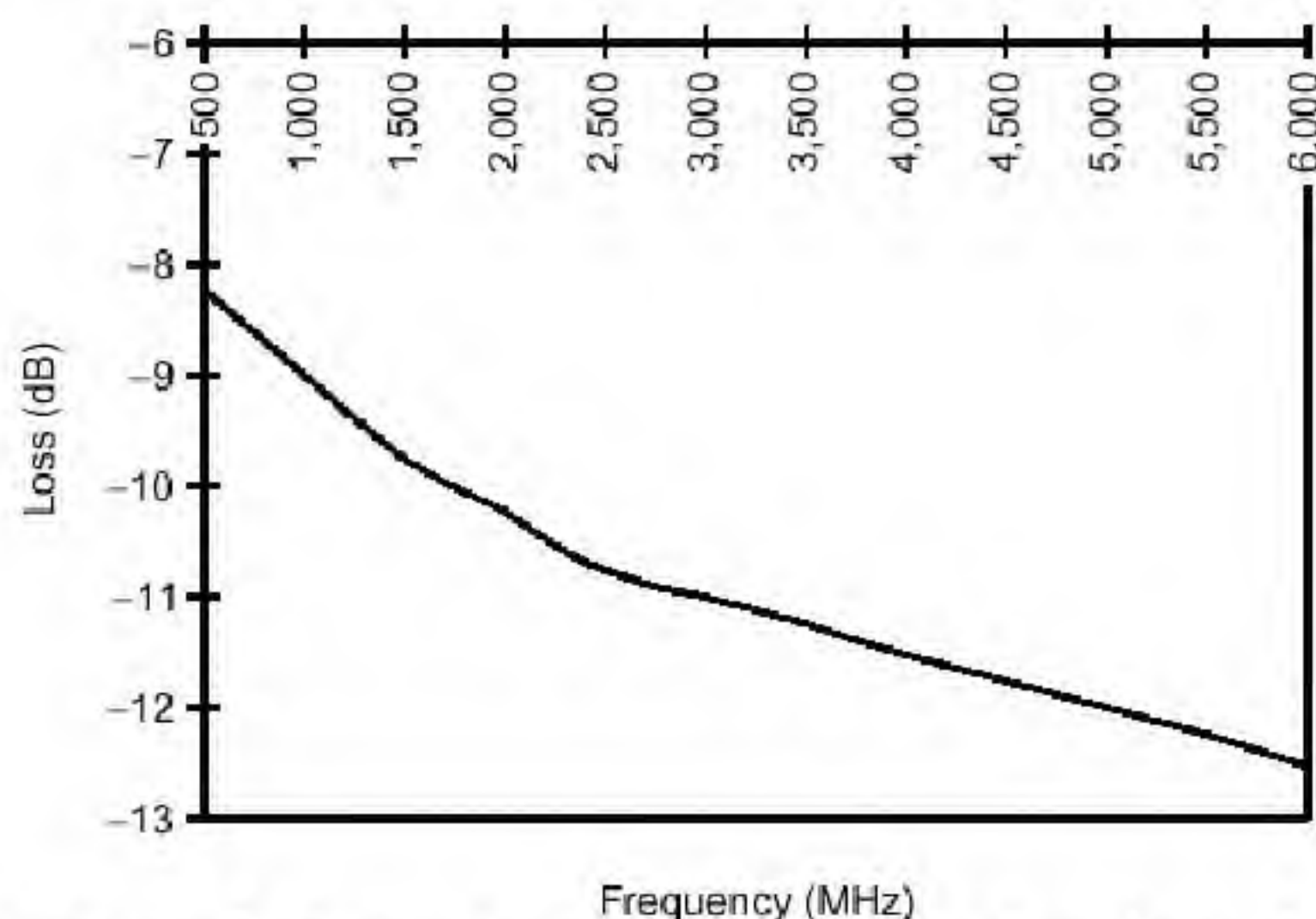


Figura 3.4 - Variação das perdas de difracção com a frequência (ângulo fixo)

2.5 Reflexão

A reflexão é causada quando uma onda atinge um objecto e é reflectida para trás, como exemplificado na figura 3.5. Diferentes materiais reflectem as ondas rádio de modo diferente, o índice de absorção pelo material é um parâmetro chave para determinar o nível do sinal que se obtém. Na prática, os edifícios de betão e de vidro fornecem excelentes reflexões. Tal como com a luz, o receptor necessita de estar no lugar certo para ver uma imagem reflectida do transmissor, tal como acontece com um espelho. Muitas superfícies de edifícios contudo são "ásperas," por isso a reflexão é dispersa quando atinge o edifício, o que faz espalhar a área das reflexões mas enfraquece o sinal recebido.

A principal dificuldade para WLL, com as suas antenas direccionais no equipamento do assinante, está em encontrar as reflexões. Um instalador se não conseguir obter o nível de sinal adequado ao apontar a antena para a estação base, pode necessitar de rodar a antena até conseguir encontrar reflexões apropriadas, o que em algumas situações poderá ser difícil.

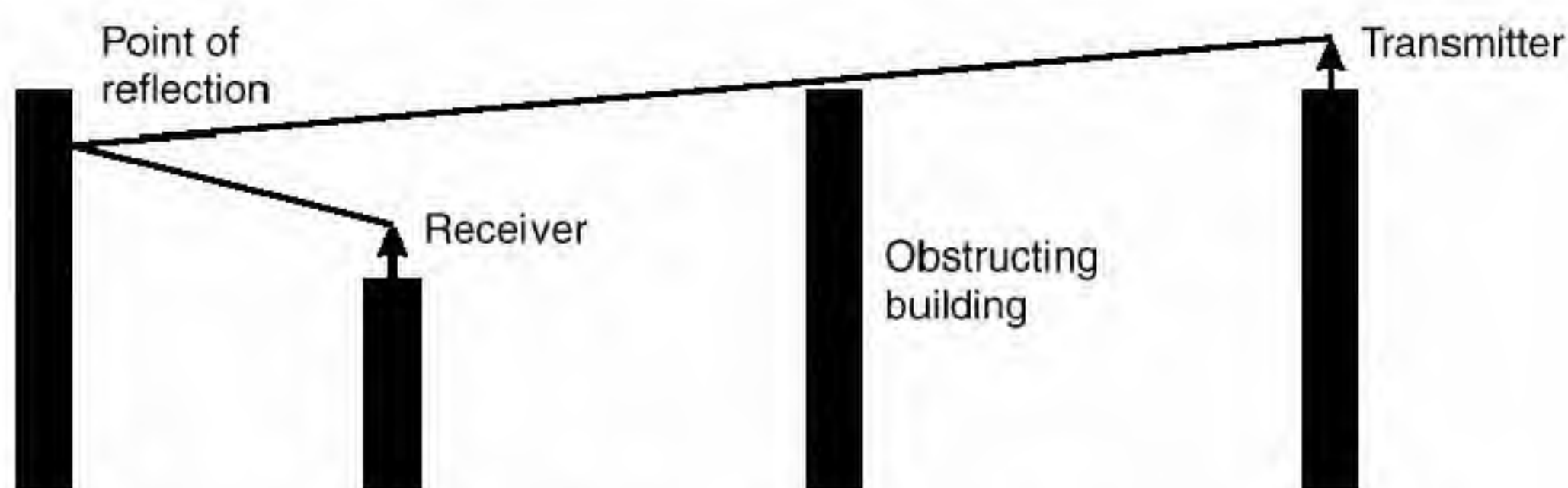


Figura 3.5 - Exemplo de sinal reflectido

3 Tecnologias de acesso via rádio

O desenvolvimento das tecnologias de acesso fixo por rádio (WLL) está fortemente ligada à dos sistemas celulares para fornecimento do serviço telefónico.

Inicialmente, quando ainda não era claro que a WLL seria bem sucedida, os fabricantes procuraram reduzir os riscos através da modificação de equipamento existente em vez de desenvolver novos sistemas de raiz. Vários fabricantes decidiram modificar os seus diferentes sistemas, incluindo os sistemas celulares e telefones sem fios (*cordless*), adaptando-os para WLL. À medida que o mercado crescia os fabricantes começaram a desenvolver novos equipamentos, de que resultou uma larga gama de equipamentos e muitas tecnologias proprietárias.

Os sistemas WLL são usualmente classificados como de banda estreita e de banda larga.

Os sistemas WLL de banda estreita fornecem taxas de acesso entre 9,6 Kbit/s e 384 Kbit/s. Estes sistemas têm as seguintes vantagens:

- Permitem a instalação do serviço com baixo custo numa larga gama de ambientes (nomeadamente em ambientes rurais).
- Os débitos disponíveis, apesar de moderados, permitem em geral voz e dados simultaneamente.

Por outro lado, têm as seguintes desvantagens:

- Os débitos disponíveis não permitem conexões de elevado débito.
- A falta de infraestruturas significa que as novas redes têm de ser construídas de raiz.

Os sistemas WLL de banda larga foram inicialmente desenvolvidos para fornecer serviços de vídeo, nomeadamente televisão, tendo portanto de suportar débitos elevados, pelo menos no sentido descendente. Os sistemas chamados *Microwave Video Distribution Systems* (MVDS) operam na banda de 40 GHz, onde foi reservada uma faixa de 2 GHz para este serviço. Este sistema é altamente assimétrico, com débitos no canal descendente da ordem de 500 Mbit/s mas com um canal de retorno (ascendente) da ordem de 20 Kbit/s, havendo inclusivamente sistemas sem canal de retorno. Os sistemas MVDS têm as seguintes vantagens:

- Têm débitos de dados muito elevados no canal descendente.
- Permitem fornecer vídeo, telefonia e dados.
- O custo é relativamente baixo, em comparação com alternativas cabladas.

Têm as seguintes desvantagens:

- O canal de retorno tem baixo débito, tornando difíceis de utilizar aplicações tais como vídeo-telefonia ou acesso à Web.
- O curto alcance da estação de base requer um grande número de estações.

3.1 Gamas de frequências usadas em redes fixas sem fios

Como os utilizadores estão preparados para pagar mais por telefones móveis, o espectro é geralmente mais valioso para rádio móvel do que para os operadores de WLL, o que tem como consequência que estes são forçados a usar frequências mais elevadas do que as utilizadas nas redes móveis.

A necessidade de utilizar frequências baixas (inferiores a 1 GHz) caracterizadas por maior alcance devido a melhor propagação, varia também consoante o ambiente de instalação de WLL. Em áreas onde os utilizadores estão distribuídos com uma densidade baixa numa área grande (por exemplo em zonas rurais), o longo alcance é importante. Nas zonas onde os utilizadores

estão aglomerados, como nas cidades, um longo alcance pode ser problemático, devido à interferência de células vizinhas. Devido a estas diferenças, os diferentes operadores de WLL procuraram normalizar várias gamas de frequências adaptadas aos vários ambientes de operação de WLL, de modo a obter economias de escala e reduzir interferências. Como em todo o mundo as frequências mais elevadas são menos usadas, a normalização de WLL teve de ir na maioria dos casos para frequências acima de 3 GHz. A tabela 6.1 alista as frequências actualmente usadas ou propostas para WLL.

Tabela 3.1 - Frequências usadas ou propostas para WLL

Frequência	Utilização
400-500 MHz	Aplicações rurais
800-1000 MHz	Para redes móveis celulares na maioria dos países
1.5 GHz	Tipicamente para satélites e links fixas
1.7-2 GHz	Para telefones cordless and celulares na maioria dos países
2.4 GHz	Tipicamente para equipamento industrial
3.4-3.6 GHz	Normalizado para WLL em todo o mundo
10 GHz	Aberto para WLL em alguns países
28 GHz e 40 GHz	MMDS
40-43 GHz	LMDS

Da discussão anterior pode-se concluir que quanto mais baixa a frequência maior a escala e melhor a difracção em torno de obstáculos. Assim os operadores tendem a usar frequências tão baixas como possível, contudo há vários factores que põem pressão nos operadores para a utilização de frequências mais elevadas, nomeadamente as seguintes:

- O maior o custo das licenças para as frequências mais baixas;
- A maior débito disponível nas frequências mais elevadas, fornecendo uma maior capacidade do sistema;
- O facto de o tamanho da célula poder ser limitado não pelo alcance da propagação mas pelo número dos utilizadores que podem existir uma célula; se houver mais utilizadores do que o máximo permitido pela célula, o tamanho da célula deve ser reduzido.

Em Portugal os sistemas FWA são designados por Acesso Fixo via Rádio e foram homologados pela ANACOM em Setembro de 1999 (à data designada Instituto das Comunicações de Portugal, ICP), tendo sido também determinadas as especificações técnicas de receptores e transmissores deste tipo de tecnologia.

As candidaturas das empresas que concorreram às frequências de FWA foram divididas em três grupos e atribuídas as licenças indicadas na tabela seguinte.

Tabela 3.2 - Licenças FWA atribuídas em Portugal

Frequências (GHz)	Aplicações	Empresas
3,6 - 3,8	Banda estreita Telefone e dados de baixo débito	Novis Telecom e ONI Telecom
24,5 - 26,5	Banda Larga Telefone, Internet alto débito, Vídeo-on-Demand, videoconferência	Jazztel, Eastécnica, Teleweb, Vodafone
27,5 - 29,5	Banda Larga Televisão	WTS e Bragatel

3.2 Actividades de normalização em WLL

A normalização esteve ausente de WLL durante muitos anos, a que correspondeu a primeira fase de produtos proprietários e ao nascimento deste mercado.

No início da década de 80, as redes rádio celulares de primeira geração estavam a ser bem sucedidas, o que motivou o ETSI a começar um programa da normalização do que viria a ser a segunda geração celular, o sistema digital que resultou no GSM.

Os sistemas WLL apareceram inicialmente para fornecer o acesso telefónico em zonas rurais de baixa densidade, com custos de instalação mais baixos que as tecnologias cabladas, sendo esta primeira geração de produtos proprietária devido à ausência de normalização.

3.2.1 Normalização ETSI

O ETSI especificou no início de 2001 a EN 301253 [2] que cobre o serviço fixo FWA na faixa de 3 a 11 GHz. Neste documento são cobertas as seguintes aplicações típicas: voz; fax; dados na banda de voz; telex; dados; RDIS; acesso Internet. Os métodos de acesso cobertos nesta norma são o *Frequency Hopping* (FH) e o CDMA.

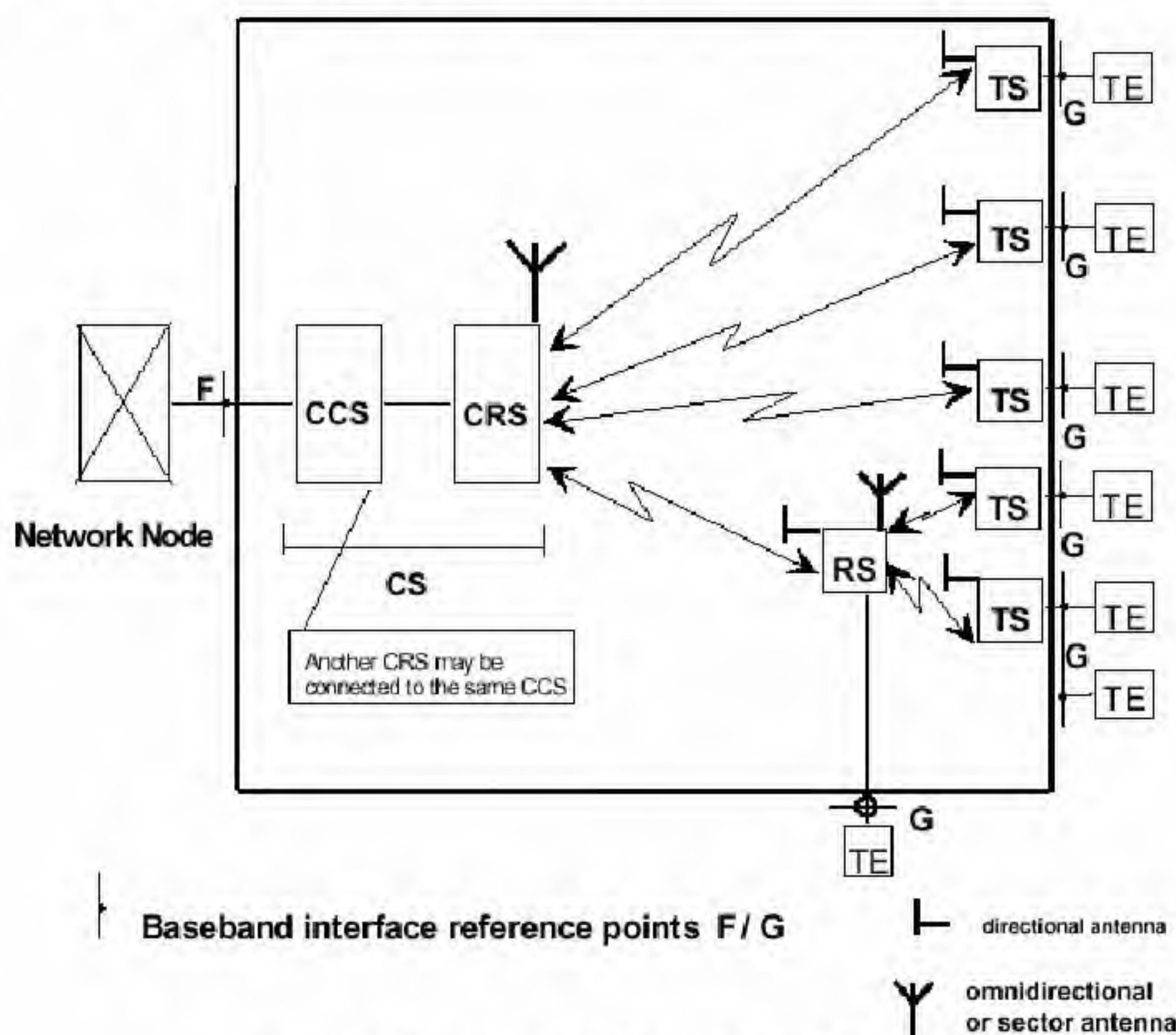


Figura 3.1- Arquitectura geral do sistema

A arquitectura do sistema consiste nos seguintes subsistemas físicos:

TS: Terminal station

Estações exteriores com interface de assinante. Uma TS pode servir mais de um equipamento terminal (Terminal Equipment, TE)

RS: Repeater Station

Estação exterior repetidora, com ou sem interface de assinante. Uma RS pode servir um ou mais TS.

F: Ponto de conexão ao nó de rede.

G: Ponto de conexão ao equipamento do assinante.

CS: Central Station

Estação central. Pode ser subdividida em duas unidades:

- Estação de controlo central (CCS), é a interface ao comutador local;
- Estação de rádio central (CRS), é o equipamento central transceptor de rádio.

Um CCS pode controlar um ou mais CRS.

A estação central implementa a interconexão com o nó de comutação da rede (comutador local) que realiza uma função de concentração do número total de canais disponíveis no sistema. A estação central é ligada por rádio a cada TS quer directamente quer através de um ou mais RS.

O atraso de ida e volta (*round trip delay*) para um canal de 64 kbit/s não deve exceder 20 ms.

O sistema deve ser transparente à ligação rádio: o comutador e o equipamento de assinante (pontos F e G na figura 3.1) devem comunicar entre si sem terem conhecimento da existência da ligação rádio.

O sistema deve ser transparente ao equipamento analógico ou digital do assinante e aos sinais de dados na banda de voz. Contudo, pode ser vantajoso usar codificações com débitos inferiores a 64 kbit/s para poupar espectro de rádio, desde que a referida transparência seja mantida. Devem ser usadas pelo menos as seguintes normas de codificação de áudio:

- 64 kbit/s: G.711 (total transparência e interface directa aos comutadores);
- 32 kbit/s: G.726;
- 16 kbit/s: G.728;
- 8 kbit/s: G.729;
- 6,3 kbit/s: G.723.1.

As faixas de frequência identificadas presentemente pelo ETSI para aplicações ponto a multiponto entre 3 e 11 GHz estão definidas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Faixas de frequências ETSI para FWA

Faixas de frequência	Limites das bandas
3,5 GHz	3,41 GHz to 3,60 GHz
3,7 GHz	3,60 GHz to 4,20 GHz
10,5 GHz	10,15 GHz to 10,3 GHz paired with 10,50 GHz to 10,65 GHz

A capacidade do sistema não deverá ser inferior a 8×64 kbit/s canais ou 500 kbit/s para cada 1 MHz de largura de banda de canal. São mostrados exemplos de capacidade na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Capacidade do sistema para alguns canais típicos

Channel spacing (MHz)	1,0	2,0	3,5	7,0	14
Minimum number of 64 kbit/s channels	8	16	28	56	112
Equivalent Bit Rate (Mbit/s)	0,5	1,0	1,75	3,5	7,0

A potência de saída para um sistema completamente carregado não deverá exceder 35 dBm excepto para a faixa de 10,5 GHz, em que a potência de saída não deverá exceder 27 dBm.

O equipamento coberto pela norma deverá utilizar interfaces normalizadas pelo ITU, ETSI ou ISO/IEC, as mais comuns das quais são listados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Tipos de interfaces

Nome da interface	Norma	Subscriber Equipment Interfaces	Network Interfaces
Analogue (2 wires)	Q.552	X	X
Analogue (4 W + E and M)	Q.553	X	X
Telex	R.20, V series	X	X
Digital data port	G.703, X series, V series	X	X
ISDN basic rate	ETS 300 012	X	X
CSMA/CD Ethernet interface	ISO/IEC 8802-3	X	X
ISDN + Analogue subscribers + Leased lines (2 Mbit/s Interface)	V5.1 / V5.2		X

3.2.2 Classificação de tecnologias WLL

Algumas tecnologias WLL são baseadas nas tecnologias celulares ou *cordless* que foram normalizadas. Em alguns casos, os padrões incluem secções que discutem como o equipamento deve ser utilizado para WLL (caso da norma DECT).

O IEEE está também a especificar de sistemas de rede de acesso fixo de banda larga, através do grupo de trabalho IEEE 802.16 [7]. Já foram concluídas várias especificações, prosseguindo o trabalho nesta área.

A existência de normas é importante por várias razões, nomeadamente por permitir aumentar a oferta das soluções, a sua interoperabilidade, a massificação da tecnologia e consequentemente o abaixamento do custo dos equipamentos de rede e dos terminais.

As tecnologias WLL actuais podem ser segmentadas genericamente em cinco grandes grupos:

- Tecnologias proprietárias (múltiplas tecnologias de banda estreita e banda larga).
- Tecnologias baseadas em normas de rádio *cordless* (banda estreita: DECT na Europa);
- Tecnologias baseadas em normas de rádio móvel celular (banda estreita: GSM, banda larga: UMTS);
- LMDS (banda larga)
- IEEE 802.16 (banda larga)

3.3 DECT em redes de acesso sem fios

Desde 1991, o ano em que o ETSI publicou a primeira especificação DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*), esta tecnologia progrediu em muitos sentidos. O mercado alvo do DECT era inicialmente o das comunicações telefónicas sem fios (*cordless*) em casa e no escritório. Contudo como foi projectada com grande flexibilidade, esta tecnologia pode agora ser encontrada nos EUA com o nome PWT (Personal Wireless Telecommunications) e em outras normas a nível mundial [5], num número crescente de aplicações, nomeadamente para comunicação de dados sem fios e para sistemas locais de rádio (WLL).

DECT é um sistema de comunicação sem fios digital bidireccional de baixa potência. A potência usual para aplicações interiores é de 20 dBm, a que corresponde um alcance usual de 200 m da estação base às estações terminais. Em aplicações de WLL a potência pode ser bastante maior, para atingir coberturas de vários Km, eventualmente mais usando antenas direccionais. Devido à escassez de espectro de rádio, DECT e PWT usam frequências de rádio elevadas, perto de 1900 MHz. Na figura 3.2 mostra-se um cenário de utilização de DECT em RLL.

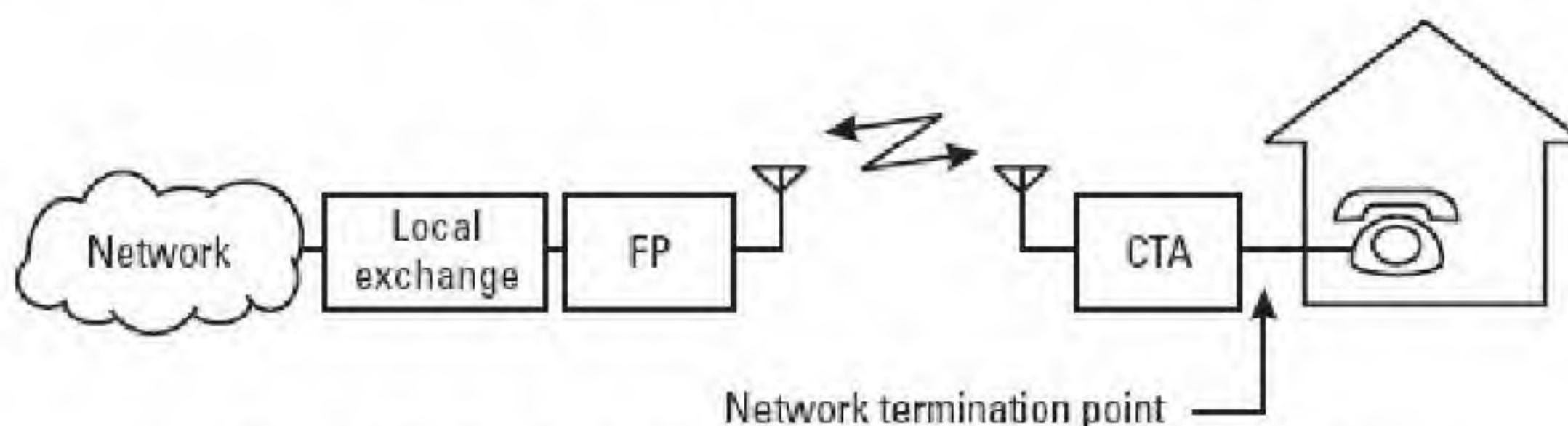


Figura 3.2 - Cenário básico de utilização de DECT como WLL

Neste cenário todo o equipamento rádio faz parte da rede RLL, pelo que a responsabilidade de operador de rede termina normalmente na ficha do telefone no adaptador terminal sem fios (*Cordless Terminal Adapter*, CTA), que é consequentemente o ponto de terminação da rede (*Network Termination Point*, NTP).

O relatório ETSI DECT RLL (ETR 308) examina em detalhe os serviços específicos que podem ser oferecidos. Identifica os serviços analógicos básicos da rede telefónica PSTN que

podem ser substituídos por um sistema RLL, identificando também oportunidades de mercado para serviços mais avançados e diferentes cenários de serviços.

As aplicações básicas de RLL (substituição de PSTN incluindo aplicações de modem até 33,6 kbit/s) são cobertas na parte 1 do perfil do acesso de RLL (RAP). As aplicações mais avançadas de RLL (por exemplo, em que o equipamento ligado é um terminal do RDIS ou um PPCA RDIS) são cobertas na parte 2 do RAP, que cobre também exigências para aplicações de banda larga de dados em modo pacote até 552 kbit/s.

Na figura 3.3 apresenta-se a arquitectura genérica de DECT como tecnologia RLL na perspectiva da Siemens [6].

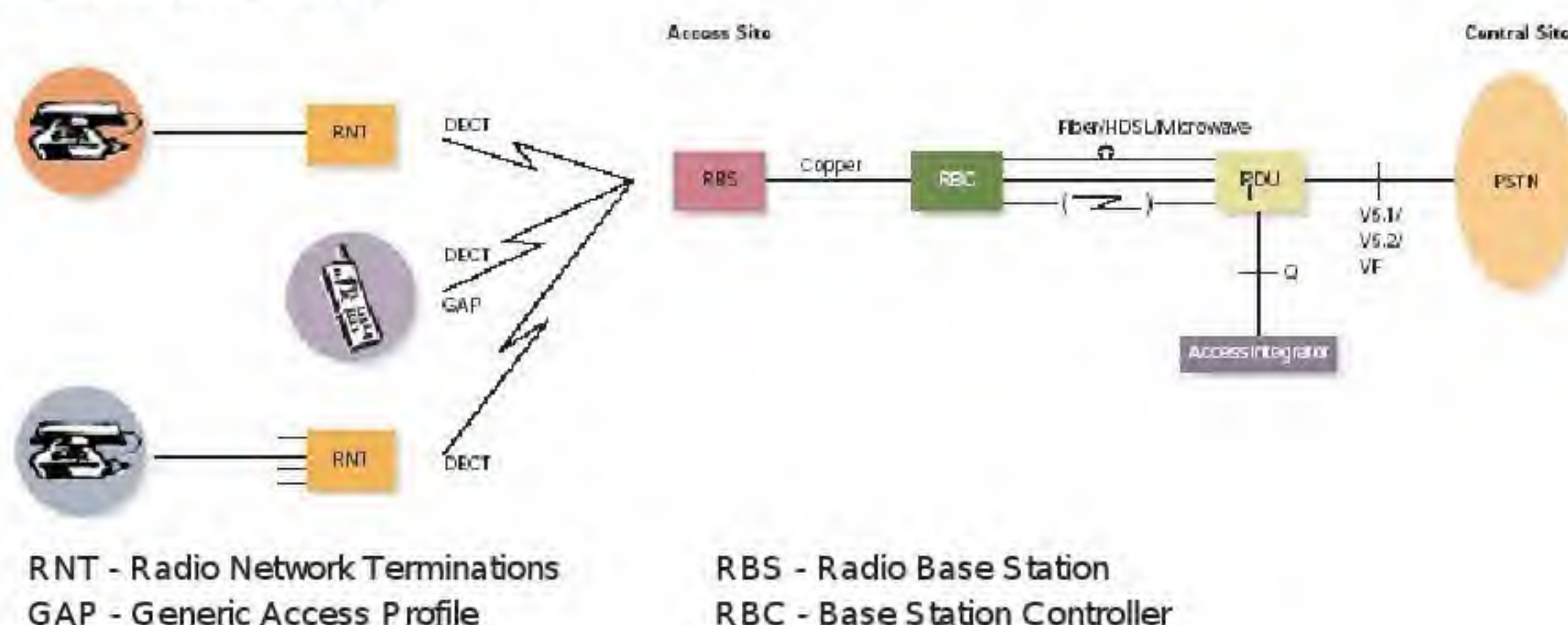


Figura 3.3 - Arquitectura geral de DECT Link (Siemens)

3.4 Sistemas celulares

Os sistemas celulares estão disponíveis na maioria de países no mundo. A principal diferença em relação a outras tecnologias sem fios, é que os sistemas celulares permitem aceder a um terminal móvel ao contrário de um terminal fixo. Outra característica dos sistemas celulares é que em geral têm problemas da capacidade, mesmo quando fornecem apenas o serviço de voz. Os sistemas celulares digitais fornecem uma qualidade da voz que em geral é inferior à qualidade existente nas linhas fixas, contudo a redução de qualidade é tolerada por causa da vantagem da mobilidade.

O sistema celular mais utilizado a nível mundial é o *Global System for Mobile Communications* (GSM), o qual oferece serviços de voz e dados. Embora originalmente as taxas de dados máximas fossem de 9,6 Kbit/s, versões mais recentes têm introduzido aumentos no débito dos dados, que podem ir até 64 Kbit/s, mas mesmo esses débitos são bastante reduzidos quando comparados com outras tecnologias de acesso. Os sistemas celulares têm muitas desvantagens como tecnologia de acesso, particularmente uma capacidade baixa e um custo elevado.

A instalação de redes de terceira geração UMTS irá aumentar significativamente os débitos disponíveis na rede, numa primeira fase para algumas centenas de Kbit/s ou até 2 Mbit/s, ainda assim bastante inferior aos débitos máximos disponíveis em outras tecnologias sem fios.

3.5 Tecnologia LMDS

Local Multipoint Distribution System (LMDS) é uma tecnologia sem fios de banda larga usada para o transporte de serviços de voz, dados, Internet e vídeo na banda acima de 25 GHz.

Devido às características de propagação dos sinais nestas gamas de frequências o LMDS utiliza uma arquitectura de rede do tipo celular, contudo os serviços proporcionados são fixos, não

móveis. Nos EUA estão disponíveis para esta tecnologia as bandas de 27, 29 e 31 GHz, enquanto que na Europa estão disponíveis a banda de 40 GHz.

3.5.1 Introdução

O ETSI definiu em 2001 no documento TR 101205 [3] a Estação de Base LMDS e o Guia de Implementação de Terminais. A estrutura base da célula LMDS é mostrada na figura seguinte.

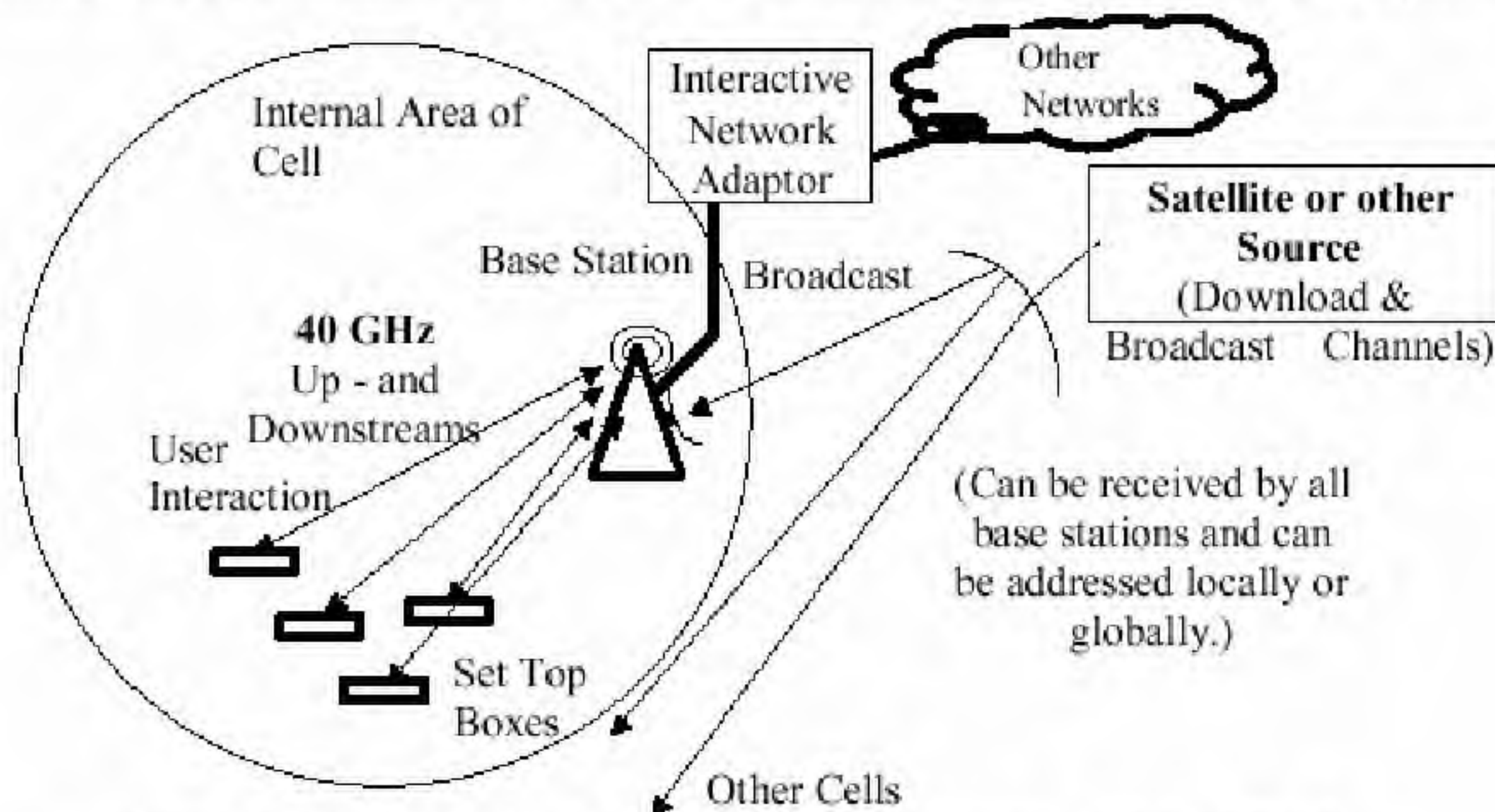


Figura 3.4 - Estrutura base da célula LMDS (sem aspectos topológicos)

Os elementos essenciais deste cenário são a estação base que efectua a difusão da informação, bem como facilidades de interacção, e os terminais dos utilizadores (Set Top Box, STB). Ambos os tipos de equipamentos são transmissores e receptores de rádio de baixa potência numa determinada portadora de frequência.

As camadas dos protocolos são definidas na EN 301 199, DVB LMDS [4], que define também os débitos de dados possíveis para os canais interactivos.

O ETSI propõe uma operação na banda de 40,5 - 43,5 GHz. A atribuição de espectro nos 40 GHz permite uma boa disponibilidade de recursos rádio e a exequibilidade de equipamento bidireccional a custos razoáveis.

São propostas estruturas possíveis de espectro, como por exemplo a mostrada na Figura 3.5, a qual é projectada com o objectivo de manter as faixas de frequência ascendente e descendente consistentes e para reduzir as faixas de guarda a um mínimo de acordo com a tecnologia futura possível. A taxa de símbolos é uma variável a configurar de modo a otimizar a operação de acordo com a procura real dos serviços.

É proposta uma modulação QPSK porque este tipo da modulação tem as seguintes características:

- Banda intrinsecamente limitada;
- Eficiência elevada de largura de banda de 2 bit/(s x hertz);
- Adequada para canais quasi-Gaussianos como é o caso em 40 GHz.

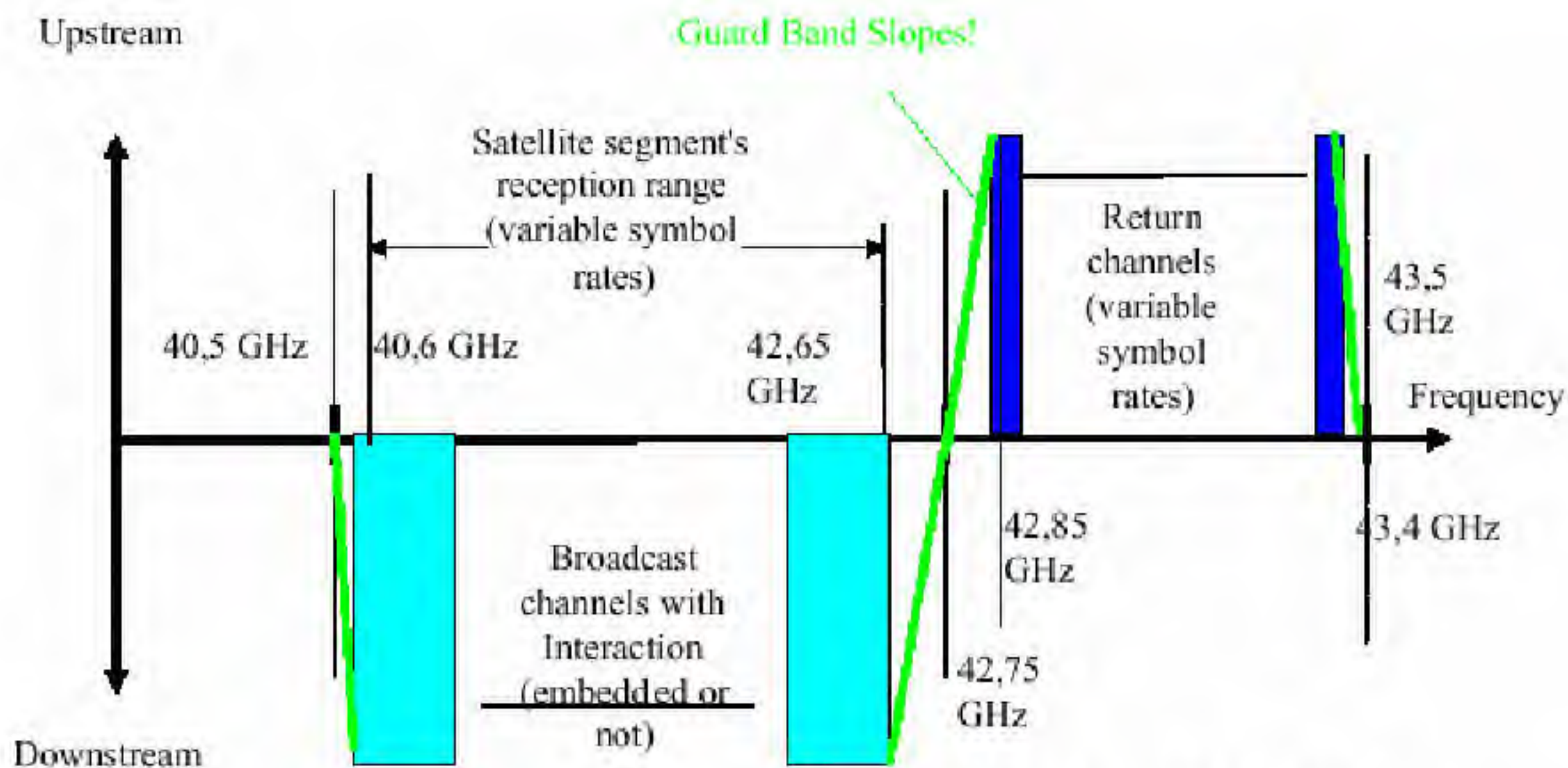


Figura 3.5 - Proposta de utilização espectral para LMDS até 43,5 GHz

Para facilidade de compreensão o espectro foi representado na figura com o sentido “descendente” invertido. Os espectros disponíveis nos dois sentidos são os seguintes:

- Broadcast & Interactivo (descendente): $1 \times 2,05 \text{ GHz} = 2,05 \text{ GHz}$,
- Canais de retorno (ascendente): $1 \times 550 \text{ MHz} = 550 \text{ MHz}$.

3.5.2 Modelo de referência para serviços interactivos

O ETSI definiu em EN 301199 a especificação base para a disponibilização de canais interactivos para redes LMDS. Para os serviços interactivos assimétricos utilizados na transmissão *broadcast* com canal de retorno de banda estreita, um modelo simples de comunicações consiste nas seguintes camadas:

- **camada física:** define todos os parâmetros físicos (mecânicos e eléctricos) da transmissão.
- **camada de transporte:** define todas as estruturas de dados e os protocolos de comunicação relevantes.
- **camada de aplicação:** define o software da aplicação interactiva e ambientes de *runtime* (por exemplo aplicação de home shopping, interpretador de script, etc.).

Foi adoptado um modelo simplificado das camadas OSI para facilitar a produção das especificações para estes nós. A Figura 3.6 indica as camadas mais baixas do modelo simplificado e identifica alguns dos parâmetros chave para as duas camadas mais baixas. Serão apenas considerados nesta especificação os aspectos específicos de rede de LMDS.

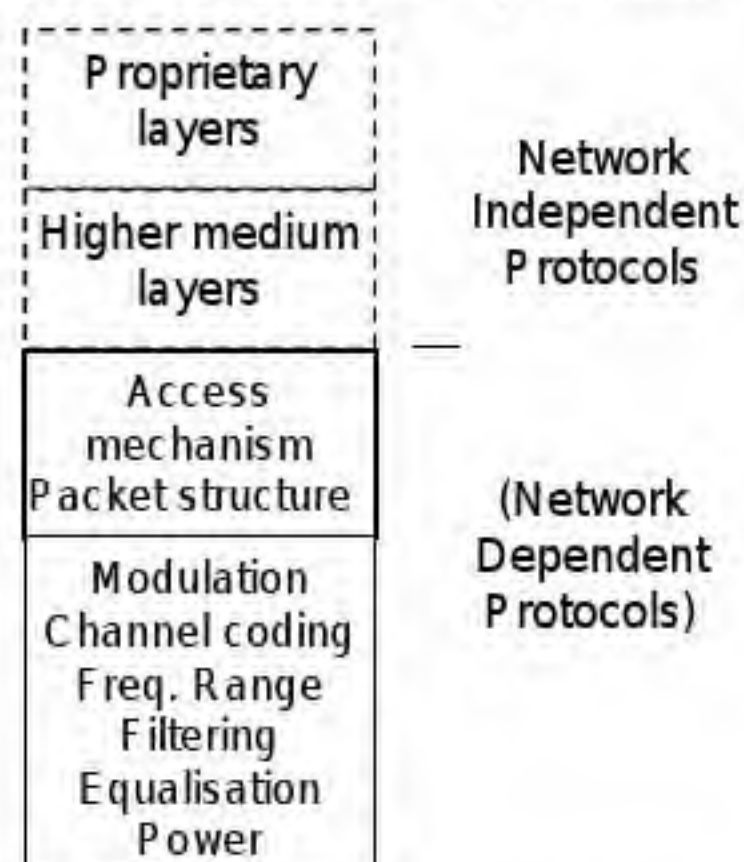


Figura 3.6 - Estrutura de camadas de modelo de referência genérico

A Figura 3.7 mostra o modelo de sistema usado em DVB para serviços interactivos. Neste modelo são estabelecidos dois canais entre o fornecedor de serviço e o utilizador:

- **Canal Broadcast** (*Broadcast Channel, BC*): Um canal unidireccional broadcast de banda larga, incluindo vídeo, áudio e dados. O canal BC é estabelecido do fornecedor de serviço aos utilizadores. Pode incluir o canal FIP, descrito a seguir.
- **Canal de Interação** (*Interaction Channel, IC*): Um canal bidireccional de interacção é estabelecido entre o fornecedor de serviço e o utilizador para finalidades de interacção. É constituído por dois canais:
 - o **Canal de Interação para trás / Canal de Retorno** (*Return Interaction path / Return Channel*): Do utilizador para o fornecedor de serviço. É usado para fazer pedidos ao fornecedor de serviço ou para responder a questões. É um canal de banda estreita, também conhecido como canal de retorno.
 - o **Canal de Interação para a frente** (*Forward Interaction path, FIP*): Do fornecedor de serviço ao utilizador. É usual fornecer algum tipo da informação pelo fornecedor de serviço ao utilizador e qualquer outra comunicação requerida para a provisão do serviço interactivo. Este canal pode ser “embutido” no canal BC ou pode não ser implementado em sistemas simples que utilizam o canal BC para transporte de dados para o utilizador.

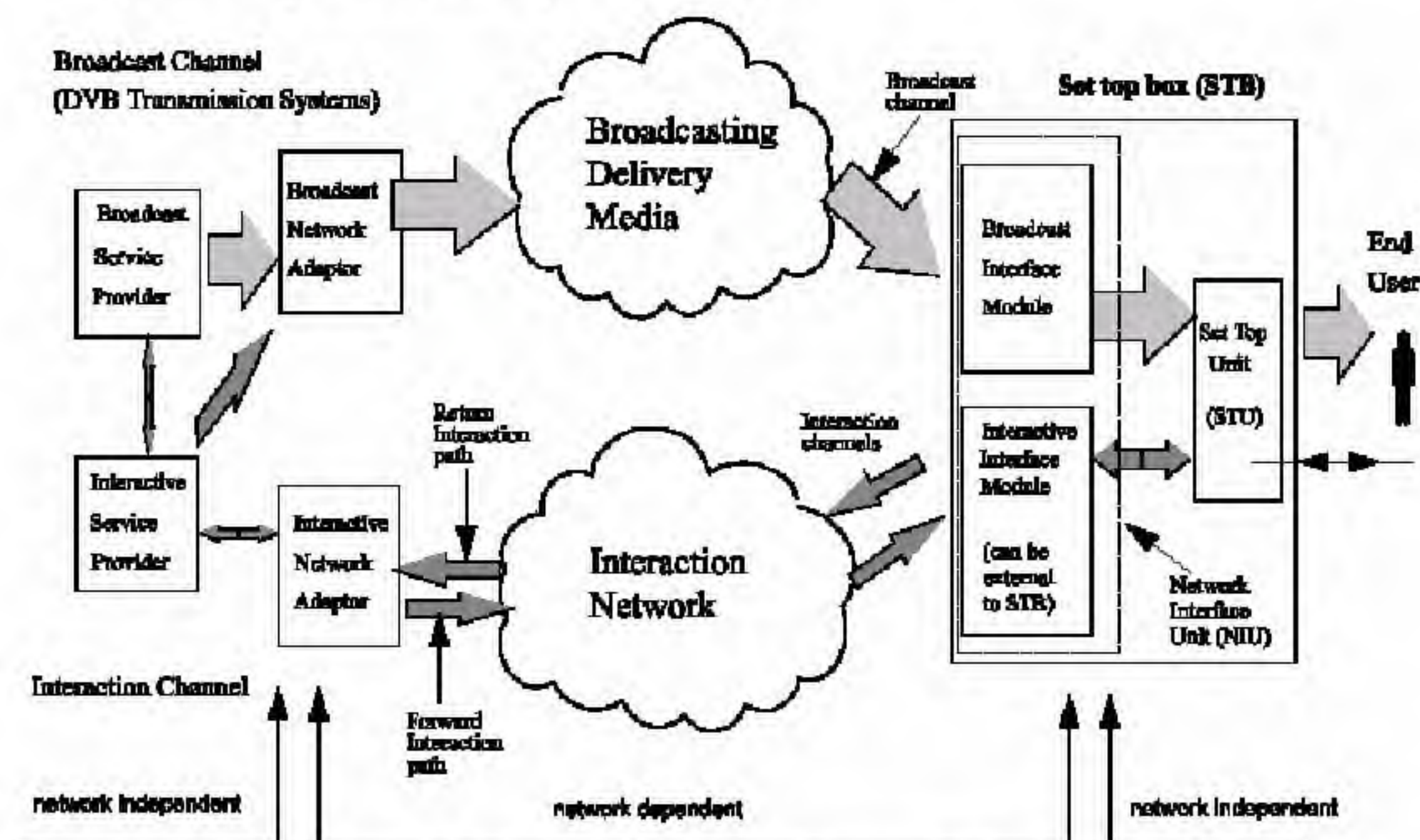


Figura 3.7 - Modelo de Referência genérico para sistemas interactivos

O terminal do utilizador é formado pela unidade da interface da rede (*Network Interface Unit, NIU*), (o qual inclui o módulo de interface *broadcast* (BIM) e o módulo de interface interactiva (IIM)) e a *Set Top Unit* (STU). O terminal do utilizador tem interfaces para o canal de *broadcast* e para o canal interactivo. A interface entre o terminal do utilizador e a rede interactiva é efectuada através do módulo IIM.

4 IEEE 802.16

4.1 Introdução

O IEEE 802.16 especifica a interface rádio para FBWA (*Fixed Broadband Wireless Access*), sistemas caracterizados por serem sistemas de acesso fixo (estacionário) sem fios ponto-a-multiponto de banda larga, proporcionando múltiplos serviços ponto a ponto e ponto a multiponto, numa rede metropolitana sem fios (*WirelessMAN*).

O protocolo de controlo de acesso ao meio (MAC) definido nesta norma suporta várias especificações físicas optimizadas para diferentes bandas de frequência. Esta norma inclui também a especificação de nível físico para a banda de 10-66 GHz.

A banda 10-66 GHz, devido ao reduzido comprimento de onda, requer linha de vista entre a estação do cliente e a estação de base, sendo desprezável o efeito de caminhos múltiplos. Os canais disponíveis nesta banda são grandes, da ordem de 25-28 MHz, o que proporciona ritmos brutos elevados, da ordem de 120 Mbit/s, adequados para redes de acesso ponto-a-multiponto para aplicações em ambientes residenciais e pequenas empresas ou em médias/grandes empresas.

Esta norma é parte da família de normas para LAN e MAN do IEEE, onde são definidos os níveis físico e lógico do modelo OSI. A relação entre esta norma e restantes da família IEEE 802 é mostrado na Figura 4.1.

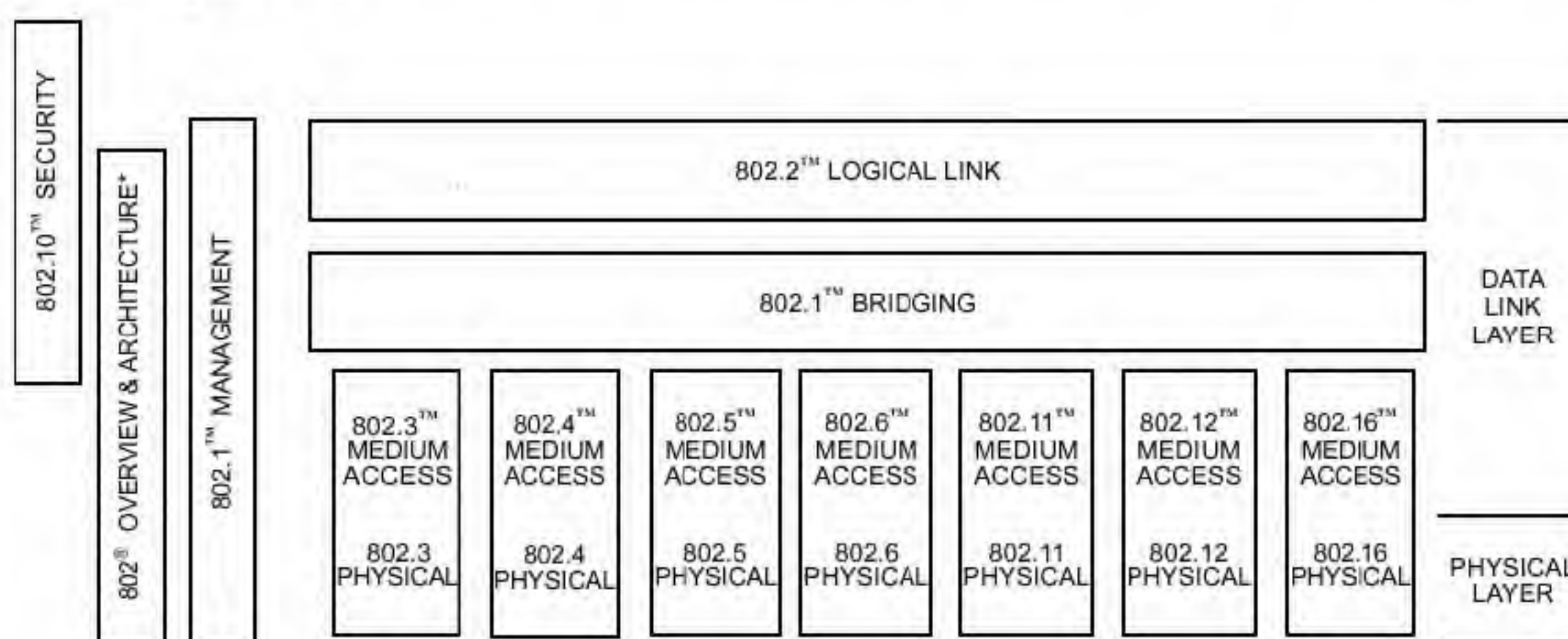


Figura 4.1 - Família de normas IEEE 802 incluindo 802.16

Como referido atrás, a norma IEEE 802.16 especifica o nível físico para a banda de 10-66 GHz.

Uma norma adicional (IEEE 802.16a) inclui uma especificação física para a banda de 2-11 GHz, bem como uma versão modificada do protocolo MAC.

No IEEE está em desenvolvimento uma nova norma (IEEE 802.16e) para suporte de mobilidade.

Em meados de 2001 foi criado o WiMAX Forum [8] com o objectivo de promover o desenvolvimento e a distribuição das redes sem fios de banda larga baseadas nas normas de IEEE 802.16, ajudando assegurar a compatibilidade e a interoperabilidade do equipamento de acesso de redes sem fios de banda larga. O WiMax é uma organização sem fins lucrativos formada por fornecedores de equipamento e de componentes, procurando igualmente promover a adopção de equipamento compatível com IEEE 802.16 por operadores de redes de acesso sem fios de banda larga.

4.2 Modelo de referência

Na Figura 4.2 ilustra-se o modelo de referência de IEEE 802.16, aplicável quer para a estação de base (BS - Base Station) quer para a estação de assinante (SS - Subscriber Station).

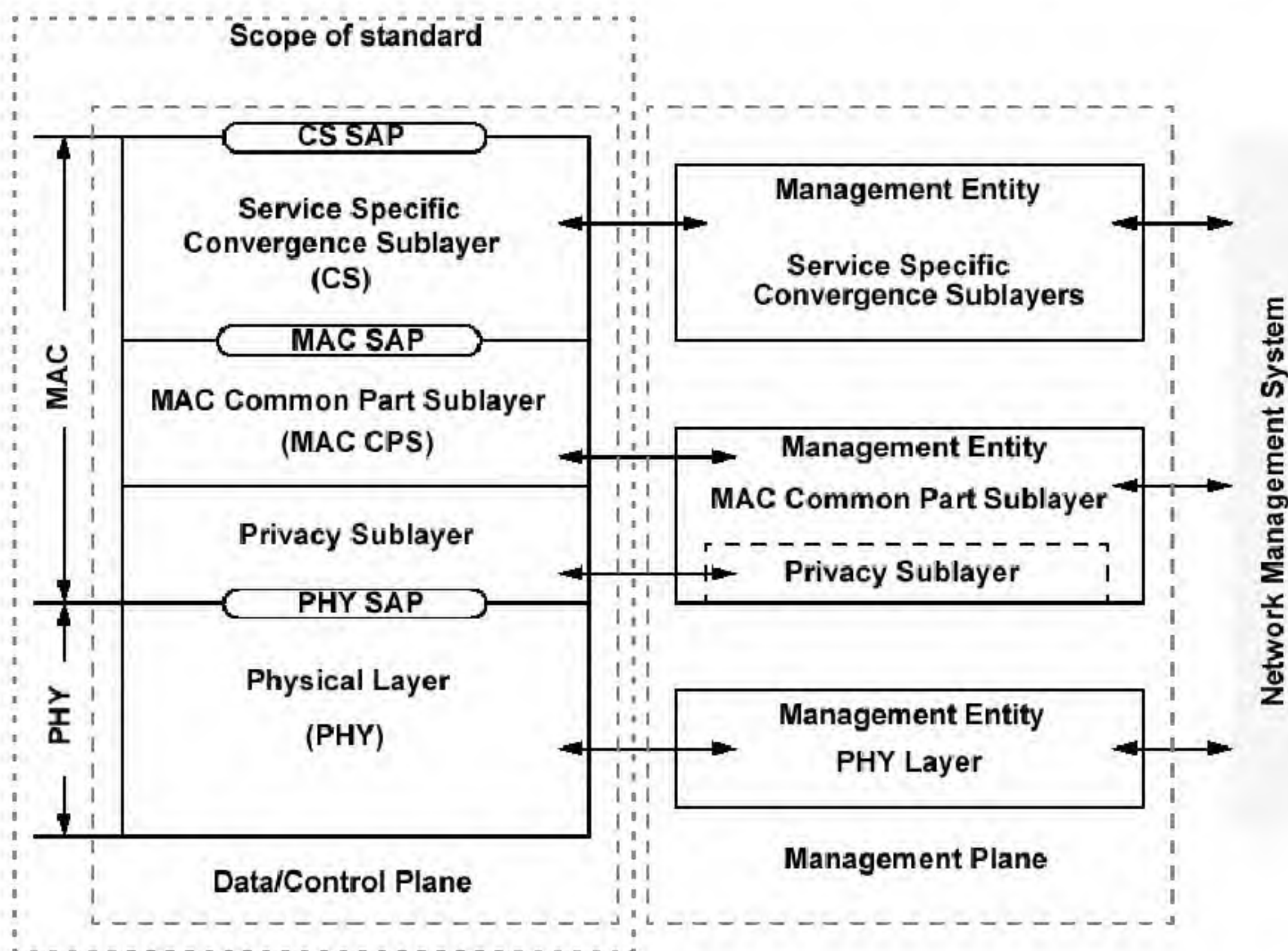


Figura 4.2 - Modelo de protocolos de IEEE 802.16 com pontos de acesso (SAPs)

Como é usual nas normas do grupo IEEE 802, a norma inclui duas camadas no plano de controlo e dados, a camada física e a camada MAC. As entidades de gestão associadas às várias camadas não fazem parte da norma.

4.3 Camada Física

Esta secção contém uma definição genérica da especificação do serviço da camada física (PHY) aplicável a todas as opções da camada, que pode consistir em duas subcamadas do protocolo:

- CS de transmissão.
- Subcamada dependente do meio físico (*Physical Medium Dependent*, PMD).

Cada subcamada PMD pode requerer a definição de um CS de transmissão específica. Se a subcamada de PMD já fornecer os serviços de PHY requeridos, a função da convergência de transmissão pode ser nula.

O serviço da camada física é descrito usando um conjunto de primitivas. As primitivas associadas com uma comunicação entre o MAC e o PHY podem ser classificadas em três categorias básicas:

- Primitivas de serviço que suportam transferência de dados, participando assim como sinais intermédios em interações MAC entre entidades par. Estas são as primitivas PHY_MAC.

- Primitivas de serviço que têm significado local e suportam interações entre subcamadas relacionadas com controlo da camada. Estas incluem as primitivas de PHY_TXSTART.
- Primitivas de serviço que suportam funções de gestão, tais como as primitivas PHY_DCD.

4.3.1 Camada física para 10-66 GHz

Esta especificação física foi projectada para operação na banda de frequência de 10-66 GHz, sendo projectada com um grau elevado de flexibilidade a fim de permitir que diferentes operadores de serviço possam otimizar diferentes instalações do sistema relativamente ao planeamento das células, ao custo, às capacidades do rádio, aos serviços, e à capacidade.

A fim permitir uma utilização flexível do espectro, são suportadas ambas as configurações, duplex por divisão do tempo (TDD) e duplex por divisão da frequência (FDD). Ambos os casos usam um formato de transmissão de *burst* cujo mecanismo de formatação suporta perfis de burst adaptativo, em que os parâmetros da transmissão, incluindo os esquemas da modulação e de codificação, podem ser ajustados individualmente a cada estação do subscritor (SS) numa base trama a trama. No caso de FDD são suportadas SSs full-duplex e SSs half-duplex sem capacidade de transmitir e receber simultaneamente.

O canal ascendente PHY é baseado numa combinação de divisão do tempo com acesso múltiplo (Time Division Multiple Access, TDMA) e de atribuição por procura com acesso múltiplo (Demand assigned Multiple access, DAMA). O canal ascendente é dividido num determinado número de slots temporais. O número dos slots atribuídos para vários usos (registo, disputa, protecção, ou tráfego de utilizador) é controlado pela camada MAC na BS e pode variar ao longo do tempo para se obter desempenho óptimo.

O canal descendente utiliza multiplexagem por divisão do tempo (TDM), com a informação de cada estação de subscritor multiplexada num único fluxo de dados e recebida por todas as estações subscritoras dentro do mesmo sector. Para suportar estações subscritoras half-duplex FDD, é feita também provisão para uma parcela do canal descendente em TDMA.

O canal descendente PHY inclui um CS de transmissão que insere um ponteiro de um byte no início do *payload* para ajudar o receptor a identificar o começo de uma PDU MAC.

Os bits de dados que vêm do CS de emissão são *randomized*, codificados com FEC, e modulados em QPSK, 16-QAM ou 64-QAM. O canal ascendente PHY é baseado na transmissão de *burst* TDMA. Cada *burst* é projectado para transportar MAC PDU de tamanho variável. O emissor *randomizes* os dados recebidos, codifica-os com FEC e modula os bits codificados em QPSK, 16-QAM ou 64-QAM.

O nível físico opera num formato com trama. Dentro de cada trama existe uma subtrama descendente e uma subtrama ascendente. A subtrama descendente começa com a informação necessária para a sincronização e o controlo da trama. No caso de TDD, a subtrama descendente vem em primeiro lugar, seguida pela subtrama ascendente. No caso de FDD, a transmissão ascendente ocorre simultaneamente com a trama descendente.

Cada SS tentará receber todas as parcelas do canal descendente à excepção dos bursts cujo perfil não é implementado pela SS ou é menos robusto do que o perfil operacional actual do burst descendente da SS. As SSs half-duplex não escutam as parcelas do canal descendente coincidentes com sua transmissão ascendente. A Tabela 8.1 indica as durações suportadas da trama.

Tabela 4-1 - Duração e códigos das tramas

Frame duration code	Frame duration (T _F)	Units
0x01	0.5 ms	ms

0x02	1 ms	ms
0x03	2 ms	ms

4.3.2 Técnicas de Duplex

São suportadas ambas as técnicas de duplex, divisão na frequência (FDD) e divisão no tempo (TDD).

4.3.2.1 Operação FDD

Na operação FDD, os canais ascendente e descendente estão em frequências separadas. A capacidade do canal descendente de transmitir em bursts facilita o uso de tipos diferentes da modulação e permite que o sistema suporte simultaneamente as estações de assinante full-duplex (que podem transmitir e receber simultaneamente) e estações half-duplex (sem essa capacidade). Note-se que a portadora do canal descendente pode ser contínua, como se demonstra na Figura 4.3 que descreve os princípios da operação FDD.

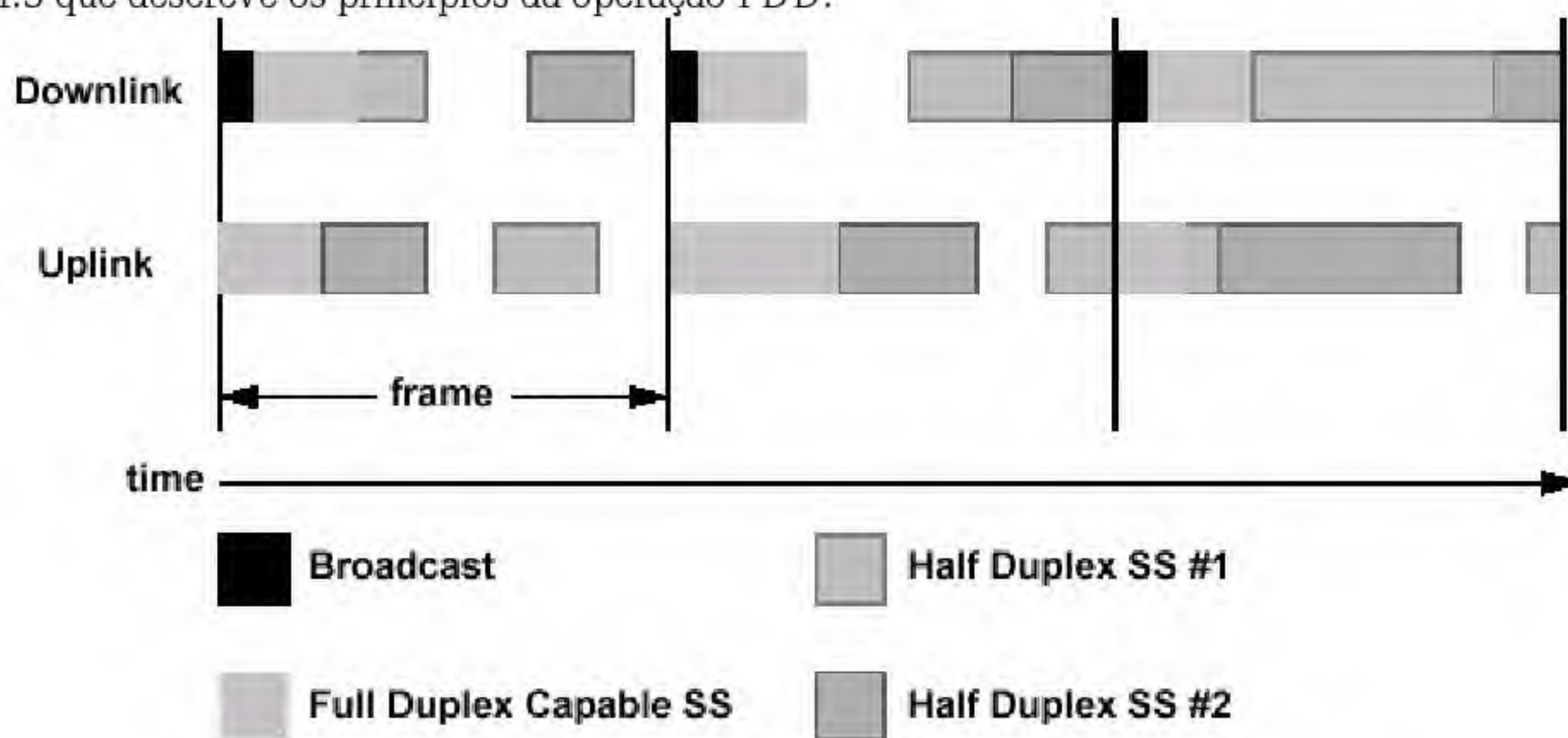


Figura 4.3 - Exemplo de Burst FDD e atribuição de débito

4.3.2.2 Operação TDD

No caso de TDD, as transmissões ascendente e descendente partilham a mesma frequência mas são separadas a tempo, como mostrado na Figura 4.4. Uma trama TDD também tem uma duração fixa e contém uma subtrama descendente e uma subtrama ascendente. A trama TDD é adaptativa pois a capacidade da ligação atribuída ao canal descendente em relação ao canal ascendente pode variar.

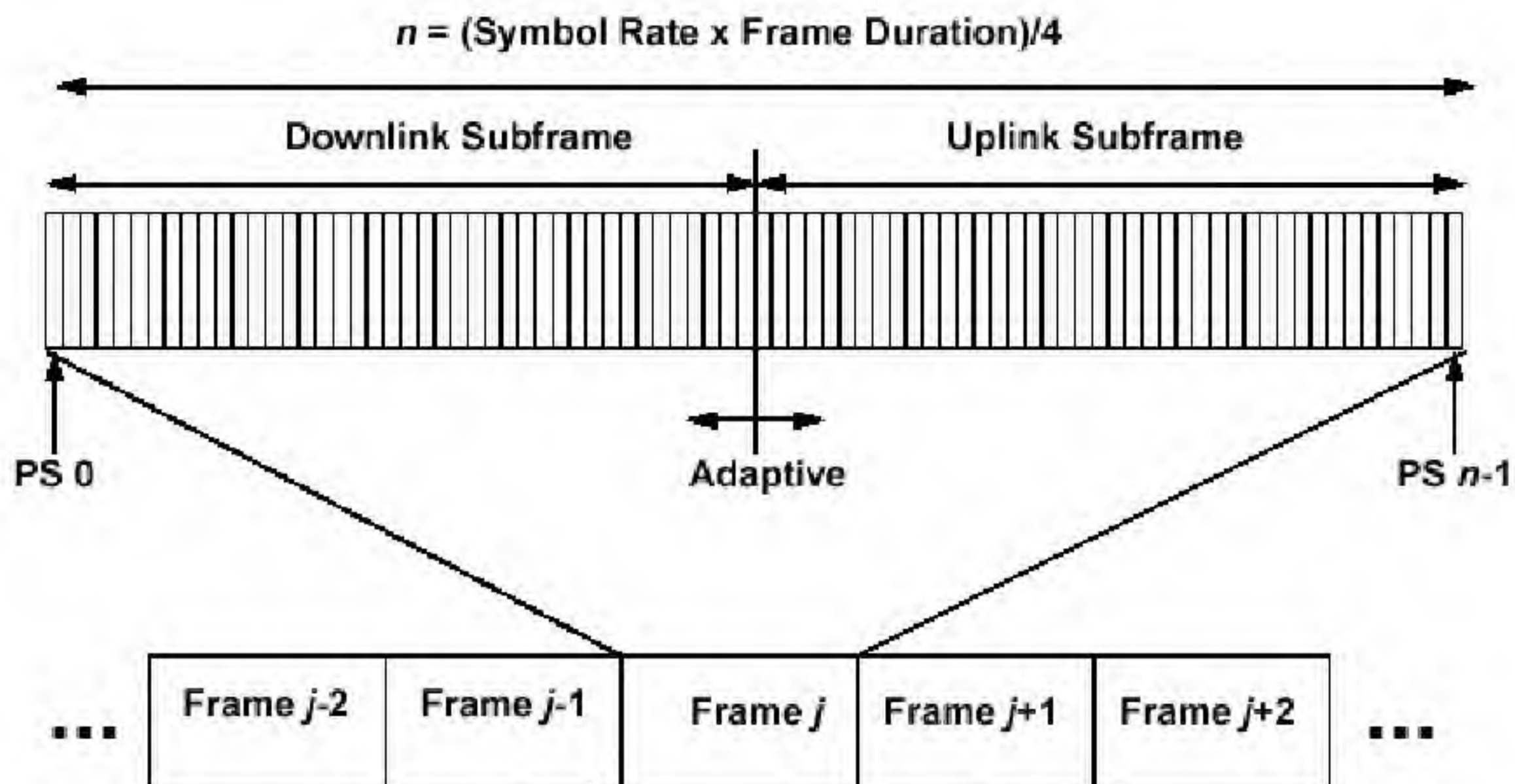


Figura 4.4- Estrutura de trama TDD

4.3.3 Camada física descendente

O débito disponível no sentido descendente é definido com uma granularidade de um slot físico (Physical Slot, PS). O débito disponível no sentido ascendente é definido com uma granularidade de um minislot, onde o comprimento do minislot é 2 m PSs (m varia de 0 a 7). O número de PSs em cada trama é uma função da taxa de símbolos. A taxa de símbolos é seleccionada de modo a obter um número inteiro de PSs dentro de cada trama. Por exemplo, com uma taxa de símbolos de 20 Mbaud, há 5000 PSs numa trama de um 1 ms.

4.3.3.1 CS de transmissão descendente

O payload do canal descendente é segmentado em blocos de dados projectados de modo a caber no tamanho apropriado do *codeword* depois de o byte do ponteiro do CS ser adicionado. Um ponteiro de um byte será adicionado a cada segmento do *payload*, como ilustrado na Figura 4.5.

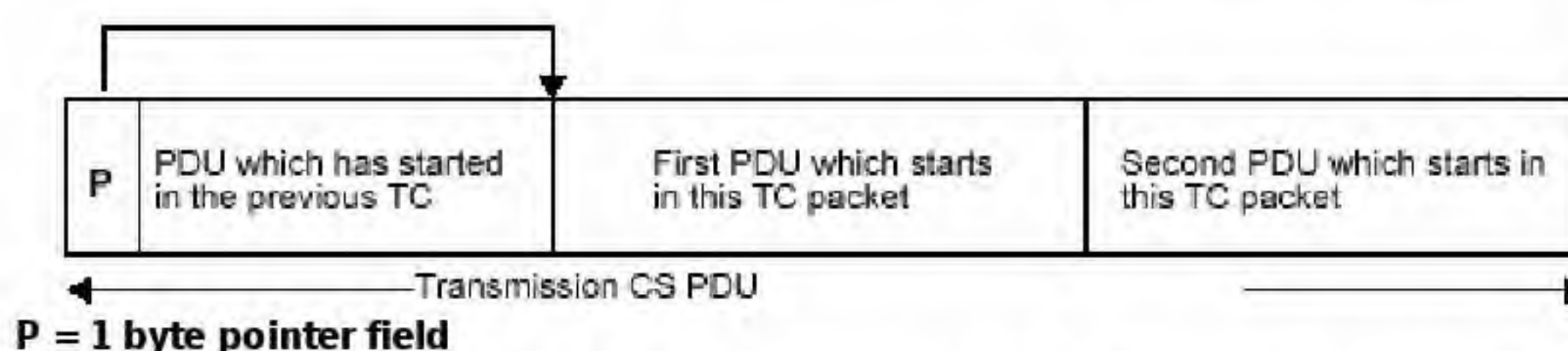


Figura 4.5 - Formato do PDU de Convergência de Transmissão Descendente

O campo do ponteiro identifica o número do byte no pacote que indica o começo do primeiro PDU do MAC a começar no pacote, ou o começo de algum byte de *stuff* que precede o PDU seguinte do MAC. O primeiro byte do pacote é referido como byte número 1. Se nenhum PDU do MAC ou bytes de *stuff* começar no pacote do CS, então o valor do ponteiro será posto a 0.

Quando não há dados disponíveis para transmitir, é usado um padrão de *stuff_byte* com o valor (0xFF) no payload para preencher todas os "buracos" dos MAC PDUs. Este valor foi escolhido por ser um valor não utilizado para o primeiro byte do PDU do MAC, que é projectado para nunca ter este valor.

4.3.3.2 Subcamada PMD Descendente

A codificação e modulação da camada física descendente para este modo são resumidas no diagrama de blocos da Figura 4.6.

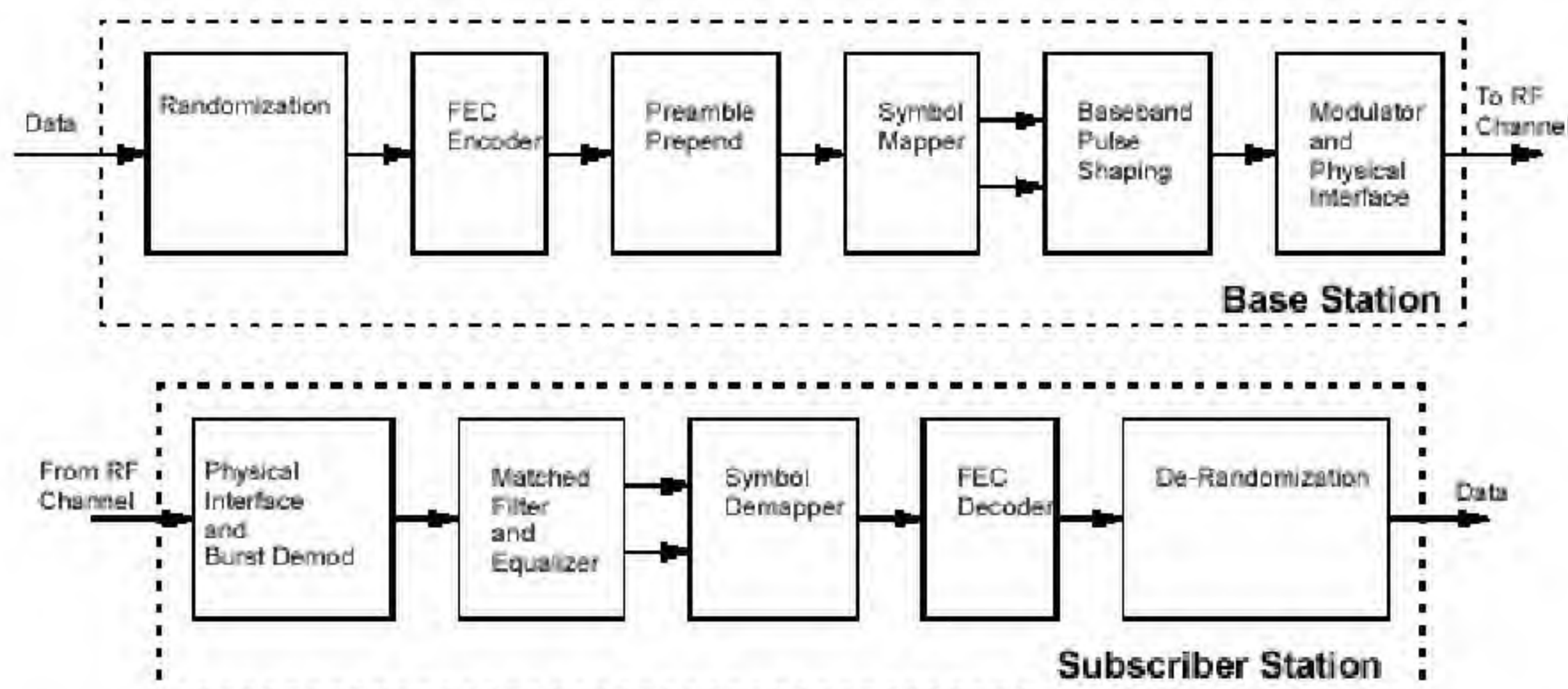


Figura 4.6 - Diagrama de blocos conceptual da Camada PMD descendente

Para maximizar a utilização da ligação aérea, o PHY usa um esquema da modulação multinível. A constelação de modulação pode ser seleccionada por subscritor, baseado na qualidade do canal de RF. Se as condições da ligação permitirem, pode ser utilizado um esquema mais complexo da modulação, maximizando o *throughput* da ligação aérea, mantendo uma transferência fiável de dados. Se a ligação aérea se degradar com o tempo, possivelmente devido a factores ambientais, o sistema pode reverter para constelações menos complexas para permitir transferência de dados com maior fiabilidade. No canal descendente, a BS deverá suportar modulação QPSK e, opcionalmente, 16-QAM e 64-QAM.

4.3.4 Camada física ascendente

A estrutura do subtrama ascendente utilizada pelas SS para transmitir para a BS é mostrada na Figura 4.7. Três classes de bursts podem ser transmitidas pelas SS durante a subtrama ascendente:

- Bursts transmitidos nas oportunidades de disputa reservadas para a manutenção inicial.
- Bursts transmitidos nas oportunidades da disputa definidos pelos intervalos do pedido reservados para a resposta ao multicast e aos escrutínios de transmissão.
- Bursts transmitidos nos intervalos definidos por Dados Grant IEs atribuídos especificamente a SSs individuais.

Estas três classes de bursts podem estar presentes simultaneamente numa trama. Os bursts podem ocorrer por qualquer ordem e em qualquer número dentro da trama, limitados apenas pelo número de PSs disponível na trama. A ordem e número de bursts é definido pelo escalonador ascendente da BS, tal como indicado pelo UL_MAP na secção de controlo da trama (parte da subtrama descendente).

O débito atribuído para oportunidades de manutenção inicial e para pedidos com disputa podem ser agrupado e é sempre usado com os perfis de burst ascendente especificados para os intervalos de manutenção iniciais (UIUC=2) e os intervalos de pedido (UIUC=1), respectivamente. Os slots de transmissão restantes são agrupados por SS. Durante o seu débito escalonado uma SS transmite com o perfil de burst especificado pela BS.

Os intervalos de transição entre SS separam as transmissões das várias SSs durante o subtrama ascendente, permitindo terminar o burst precedente a que se segue um preâmbulo para

sincronização da nova SS. Os comprimentos do preâmbulo e do intervalo de transição são transmitidos periodicamente na mensagem UCD.

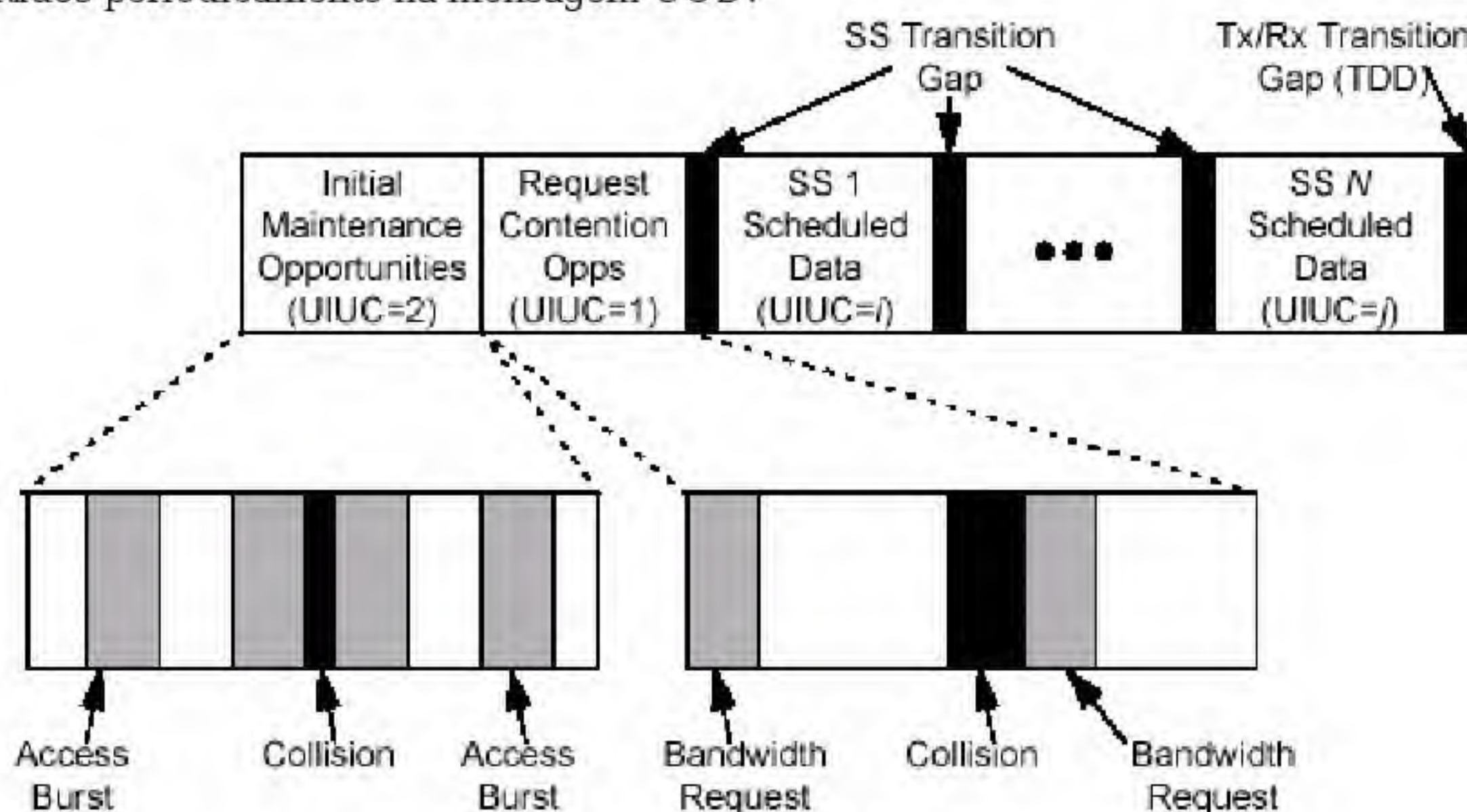


Figura 4.7 - Estrutura da subtrama ascendente

4.3.4.1 CS de transmissão ascendente

A operação de CS de transmissão ascendente é idêntica à operação do CS de transmissão descendente.

4.3.4.2 Subcamada PMD ascendente

A codificação e modulação da camada física ascendente para este modo são resumidas no diagrama de blocos da Figura 8.8.

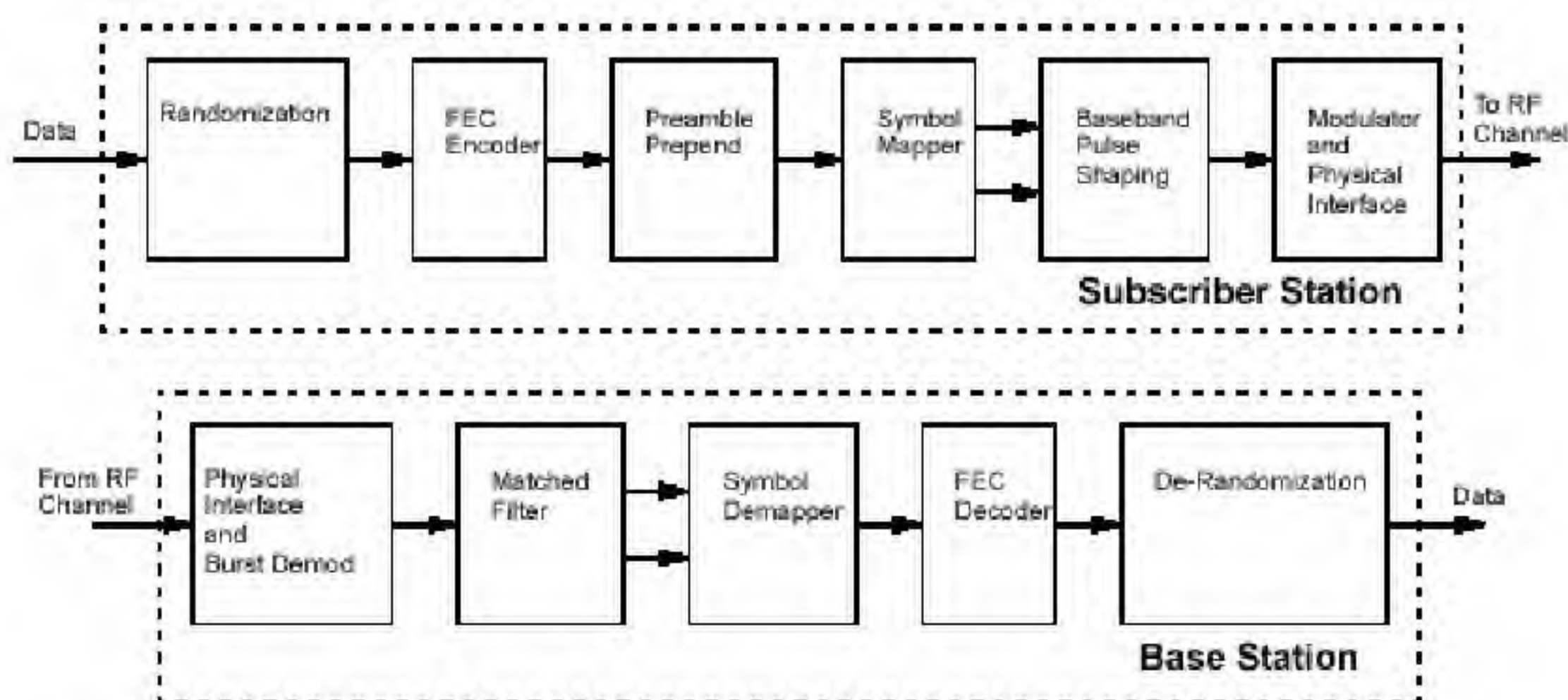


Figura 4.8 - Diagrama de blocos conceitual da Camada PMD ascendente

A modulação usada no canal ascendente é variável e ajustado pela BS. Será suportado QPSK, sendo 16-QAM e 64-QAM opcionais. Na mudança de um perfil de burst para outro, as SS usarão uma de duas regras de ajuste de potência: manter a potência de pico da constelação constante ($=0$), ou manter a potência média da constelação constante ($=1$). A regra de ajuste de potência é configurável através dos parâmetros de codificação de canal de UCD.

4.4 Camada MAC

Como se mostra na Figura 4.2, a camada MAC compreende três sub-camadas:

- Service Specific Convergence Sublayer (CS)
- Common Part Sublayer (CPS)
- Privacy sublayer

A Subcamada de Convergência (CS) transforma os dados recebidos da rede de dados externa, através do ponto de acesso CS SAP, em MAC SDU (*Service Data Unit*), e envia-os para a subcamada inferior, a Subcamada de Parte Comum (CPS). As operações efectuadas nesta camada incluem a classificação das SDUs externas e a sua associação ao fluxo de serviço MAC e identificador da conexão (CID) adequado. Esta subcamada também pode efectuar funções como a supressão do cabeçalho do *payload*. Estão definidas várias especificações de CS para suporte de vários protocolos. O formato do *payload* interno do CS é único e transparente para a subcamada CPS.

A subcamada CPS fornece a funcionalidade básica do MAC de acesso ao sistema, de atribuição de débito, do estabelecimento da conexão e da manutenção da conexão. Recebe dados dos vários CSs, através do SAP do MAC, classificados para conexões MAC específicas. A qualidade do serviço (QoS) é aplicada à transmissão e ao escalonamento dos dados sobre a camada física.

O MAC contém ainda uma subcamada separada de privacidade, que proporciona autenticação, troca de chave segura e encriptação. Os dados, o controlo do nível físico e dados estatísticos são transferidos entre o MAC CPS e o PHY.

O nível físico PHY pode incluir múltiplas especificações, cada uma apropriada a uma gama de frequência e aplicação específicas.

4.4.1 Sub-camada de Convergência CS

A subcamada de convergência específica do serviço (CS) reside por cima da MAC CPS e utiliza, através do SAP do MAC, os serviços fornecidos pelo MAC CPS.

O CS implementa as seguintes funções:

- Recepção de PDUs da camada mais elevada
- Classificação das PDUs da camada superior
- Processamento (se requerido) das PDUs da camada superior baseado na sua classificação
- Envio das CS PDUs ao SAP apropriado do MAC
- Recepção das CS PDUs da entidade par.

Estão atualmente definidas duas especificações do CS:

- CS de ATM
- CS de pacote.

4.4.1.1 Subcamada CS ATM

O CS ATM define uma interface lógica que associa diferentes serviços ATM com o SAP do CPS. O CS ATM aceita células ATM da camada ATM, faz a classificação e, se configurado, supressão de cabeçalho de *payload* (PHS) e entrega CS PDUs ao MAC SAP apropriado.

O CS ATM é definido especificamente para suportar a convergência de PDUs geradas pelo protocolo de camada do ATM de uma rede ATM. Como os fluxos de células ATM são gerados de acordo com as normas ATM, não é necessário definir primitivas de serviço CS ATM. O PDU do CS ATM consiste em um cabeçalho e um *payload* do PDU de CS ATM. O *payload* do PDU de CS ATM é igual ao *payload* da célula ATM, tal como se mostra na Figura 4.9.

ATM CS Header	ATM CS Payload (48 octetos)
------------------	-----------------------------

Figura 4.9 - Formato de PDU de CS ATM

Uma conexão ATM, que é identificada univocamente por um par dos valores de VPI e VCI, é comutada por um *Virtual Path* (VP) ou por um *Virtual Channel* (VC). No modo de comutação por VP todos os VCIs dentro de um único VPI de entrada são automaticamente mapeados num VPI de saída. No modo de comutação por VC, os valores de VPI/VCI de entrada são mapeados individualmente para valores de VPI/VCI de saída. Assim, ao implementar PHS, o CS do ATM diferencia estes dois tipos de conexões e executa a adequada supressão.

Um classificador é um conjunto de critérios aplicado a cada célula ATM que entra no CS ATM. Consiste em aplicar os vários critérios combinados às células ATM, tais como VPI e VCI, e uma referência a um CID. Se uma célula ATM combinar os critérios combinados especificados, ela é entregue ao SAP MAC para a entrega na conexão identificada pelo CID.

Para o modo de comutação VP o campo VPI, de 12 bits na interface NNI e de 8 bits na interface UNI, é mapeado num CID de 16 bit para a conexão MAC em que é transportado. Como os parâmetros de QoS e da categoria de serviço para a conexão são definidos no estabelecimento da conexão, este mapeamento de VPI para CID garante o tratamento correcto do tráfego pela subcamada MAC.

Para o modo de comutação VC os campos VPI e VCI, num total de 28 bits para a NNI e 24 bits na UNI, são mapeados num CID de 16bit para a conexão do MAC em que é transportado. De igual modo, como os parâmetros de QoS e da categoria de serviço para a conexão são definidos no estabelecimento da conexão, este mapeamento de VPI/VCI para CID garante o tratamento correcto do tráfego pela subcamada MAC. Faz-se notar que a gama total de combinações de VPI/VCI (até 2^{28} para NNI e 2^{24} para UNI) não pode usada simultaneamente neste modo.

4.4.1.1.1 Supressão de cabeçalho de payload

Na supressão do cabeçalho do payload (*payload header suppression*, PHS), a parte repetitiva dos cabeçalhos do payload do CS SDUs é suprimida pela entidade de emissão e restaurada pela entidade de recepção. No canal descendente, a entidade de emissão é o CS ATM estação de base (BS) e a entidade de recepção é o CS do ATM nas SS. No ascendente as funções são inversas.

Para maior poupança de débito, as múltiplas células ATM (com ou sem PHS) que partilham o mesmo CID podem ser empacotadas e transportadas por um único PDU CPS. Note-se que quando o PHS é desligado, nenhuma parte do cabeçalho das células ATM deve ser suprimido, incluindo o campo da verificação do erro do encabeçamento (HEC). Isto fornece uma opção para protecção da integridade do cabeçalho da célula. Se ou não PHS está aplicado a uma conexão do ATM é sinalizado na mensagem DAS-REQ na criação da conexão. De modo análogo, o VPI (para conexões VP-comutadas) ou o VPI/VCI (para conexões VC-comutadas) são sinalizados também nas configurações do classificador da mensagem DAS-REQ na criação da conexão.

No modo de comutação VP o VPI é mapeado num CID. Isto permite a eliminação do cabeçalho da célula ATM à excepção do VCI, do indicador do tipo do payload (PTI), e do campo de prioridade da perda da pilha (CLP). Estes campos são encapsulados no cabeçalho do PDU do CS.

A Figura 4.10 mostra um PDU de CS que contém uma única célula ATM com comutação de VP com o cabeçalho da célula suprimido e o formato do cabeçalho do PDU do CS ATM para conexões ATM com comutação de VP.

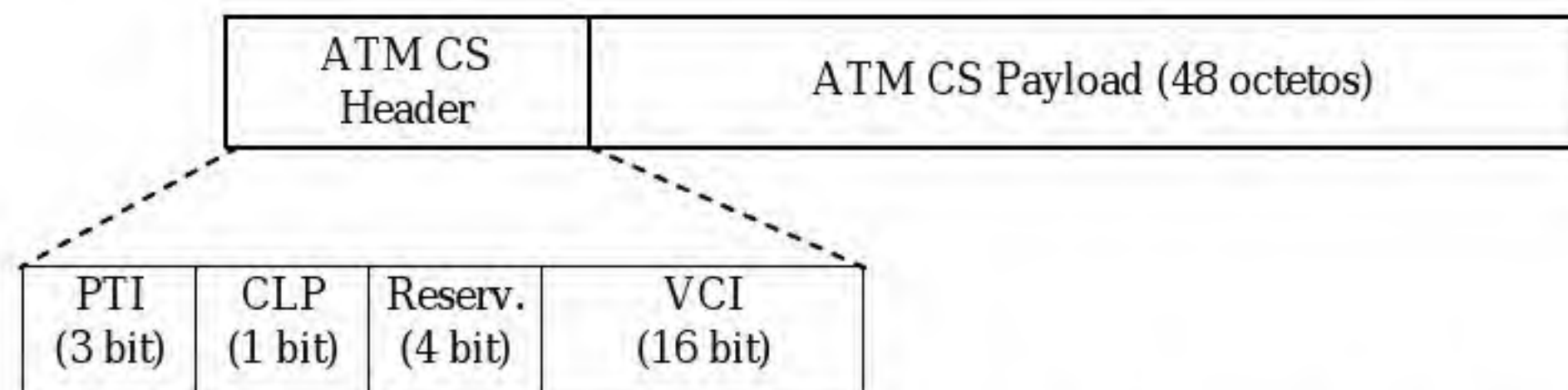


Figura 4.10 - Formato de PDU CS para conexões ATM com comutação VP

No modo de comutação VC a combinação VPI/VCI é mapeada num CID. Isto permite a eliminação do cabeçalho da célula ATM à excepção do tipo do payload (PTI), e do campo de prioridade da perda da pilha (CLP). Estes campos são encapsulados no cabeçalho do PDU do CS.

A Figura 4.11 mostra um PDU de CS contendo uma única célula ATM com comutação de VC com o cabeçalho da célula suprimido e o formato do cabeçalho do PDU do CS ATM para conexões ATM com comutação de VC.

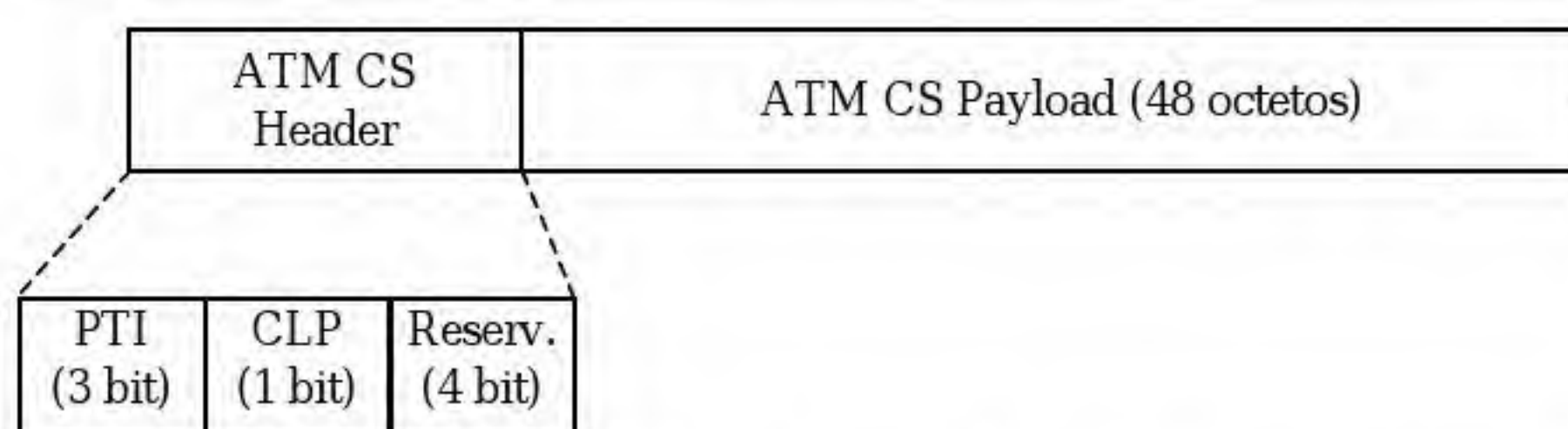


Figura 4.11 - Formato de PDU CS para conexões ATM com comutação VC

4.4.1.2 Subcamada CS de pacote

A subcamada CS de pacote está localizada por cima da camada CPS do MAC. A subcamada CS implementa as seguintes funções, utilizando os serviços da subcamada MAC:

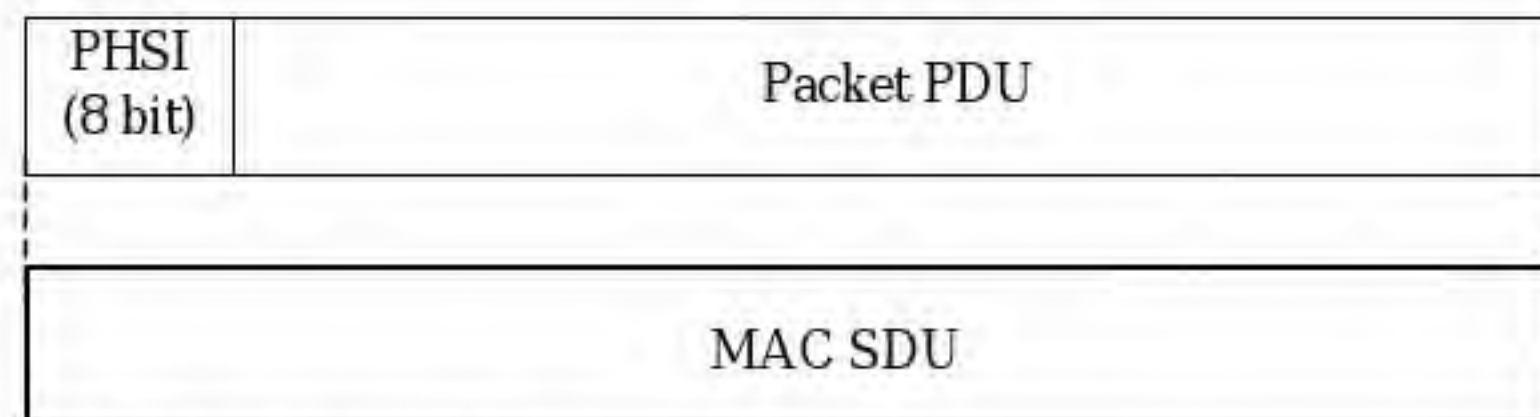
- A classificação do PDU do protocolo da camada superior na conexão apropriada
- Supressão de informação de cabeçalho do payload (opcional)
- Entrega do PDU CS resultante ao SAP MAC associado com o fluxo de serviço para o transporte ao SAP MAC da entidade par
- Recepção do PDU do CS da entidade par do SAP MAC
- Reconstrução de toda a informação suprimida de cabeçalho do payload (opcional)

O CS de emissão é responsável para entregar o MAC SDU ao SAP do MAC. O MAC é responsável pela entrega do MAC SDU à entidade MAC par, de acordo com o QoS, a fragmentação, a concatenação e outras funções de transporte associadas com as características do fluxo de serviço de uma conexão particular.

O CS de recepção é responsável para aceitar o MAC SDU do SAP MAC da entidade par e entregá-la à entidade da camada superior.

O CS de pacote é usado para o transporte para todos os protocolos baseados em pacote, tais como IP, PPP e IEEE 802.3/Ethernet.

As PDUs da camada superior são encapsuladas no formato do MAC SDU como se mostra na Figura 4.12. Para alguns protocolos do payload, cada payload consiste no campo de 8 bit do índice da supressão do cabeçalho do payload (PHSI) seguido pelo campo do payload. Outros protocolos mapeiam o PDU da camada superior diretamente no MAC SDU. O valor 0 no PHSI indica que não existe supressão do cabeçalho do payload na PDU, caso contrário o valor do índice identifica as regras para a supressão. Este índice é mapeado de modo análogo em pares de BS e SS para permitir a reconstrução da informação suprimida.



PHSI - payload header suppression index

Figura 4.12 - Formato de SDU MAC

4.4.1.2.1 Classificação

A classificação é o processo através do qual um MAC SDU é mapeado numa conexão particular para transmissão entre entidades MACs pares. O processo de mapeamento associa um MAC SDU com uma conexão, que também cria uma associação com as características do fluxo de serviço dessa conexão. Este processo facilita a entrega do MAC SDUs com as características apropriadas de QoS.

Um classificador é um conjunto de critérios de mapeamento aplicados a cada pacote que entra na rede IEEE 802.16. Consiste no mapeamento de alguns campos específicos do pacote (endereço IP de destino, por exemplo) numa prioridade do classificador, e numa referência a um CID. Se um pacote verificar os critérios de mapeamento especificados, é entregue ao SAP para entrega na conexão definida pelo CID. As características do fluxo de serviço da conexão fornecem o QoS para esse pacote.

Podem ser usados diversos classificadores para o mesmo fluxo de serviço, usando-se a prioridade do classificador para ordenação dos classificadores aos pacotes. A prioridade não necessita ser única, mas é necessário ter cuidado na definição das prioridades dos classificadores para impedir a ambiguidade na classificação. Os classificadores descendente são aplicados pela BS aos pacotes que transmite e os classificadores ascendente são aplicados nas SS. A Figura 4.13 ilustra os mapeamentos discutidos acima, no sentido BS para SS.

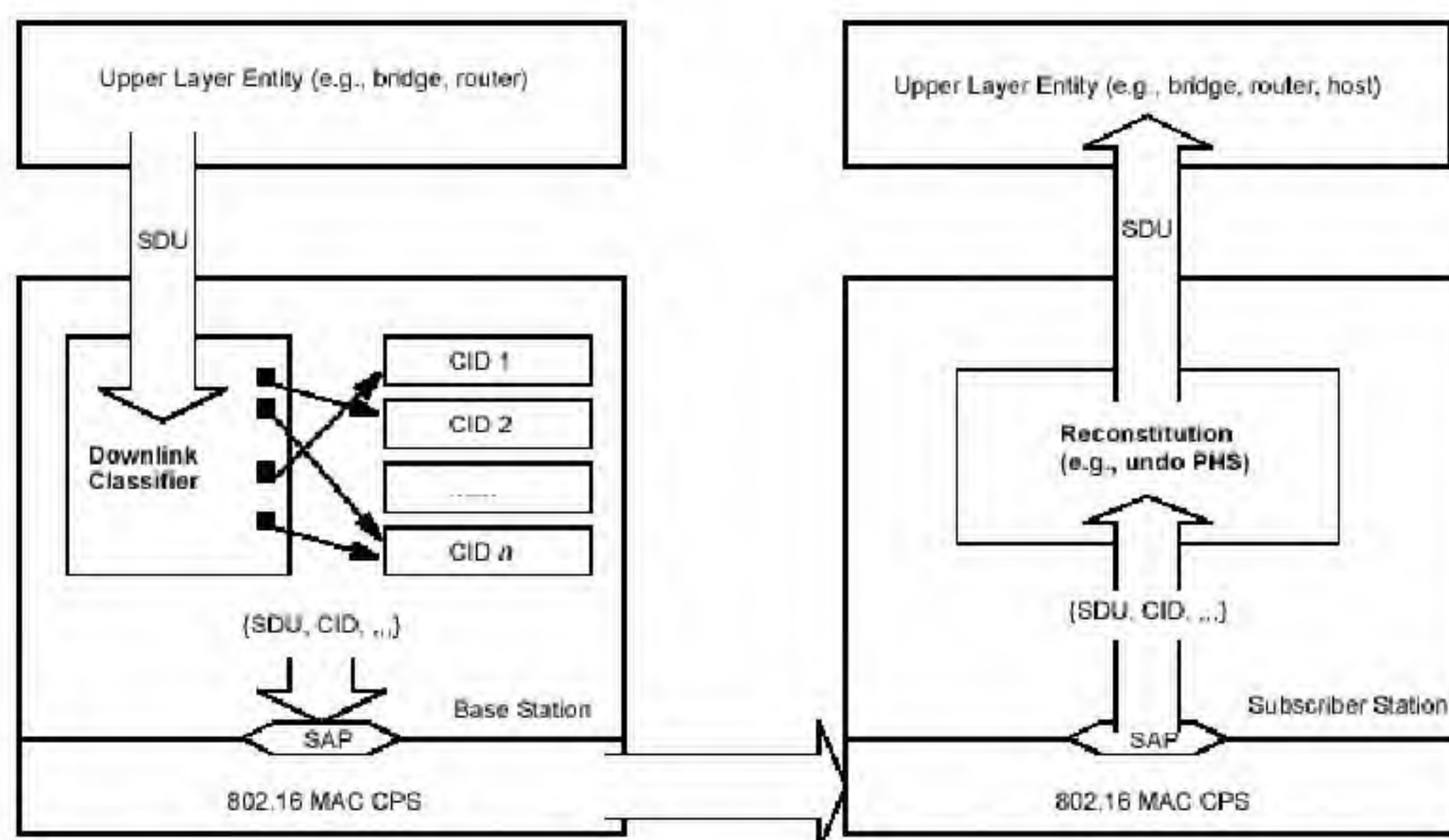


Figura 4.13 - Classificação e mapeamento de CID (BS para SS)

A Figura 4.14 ilustra igualmente os mapeamentos no sentido SS para BS.

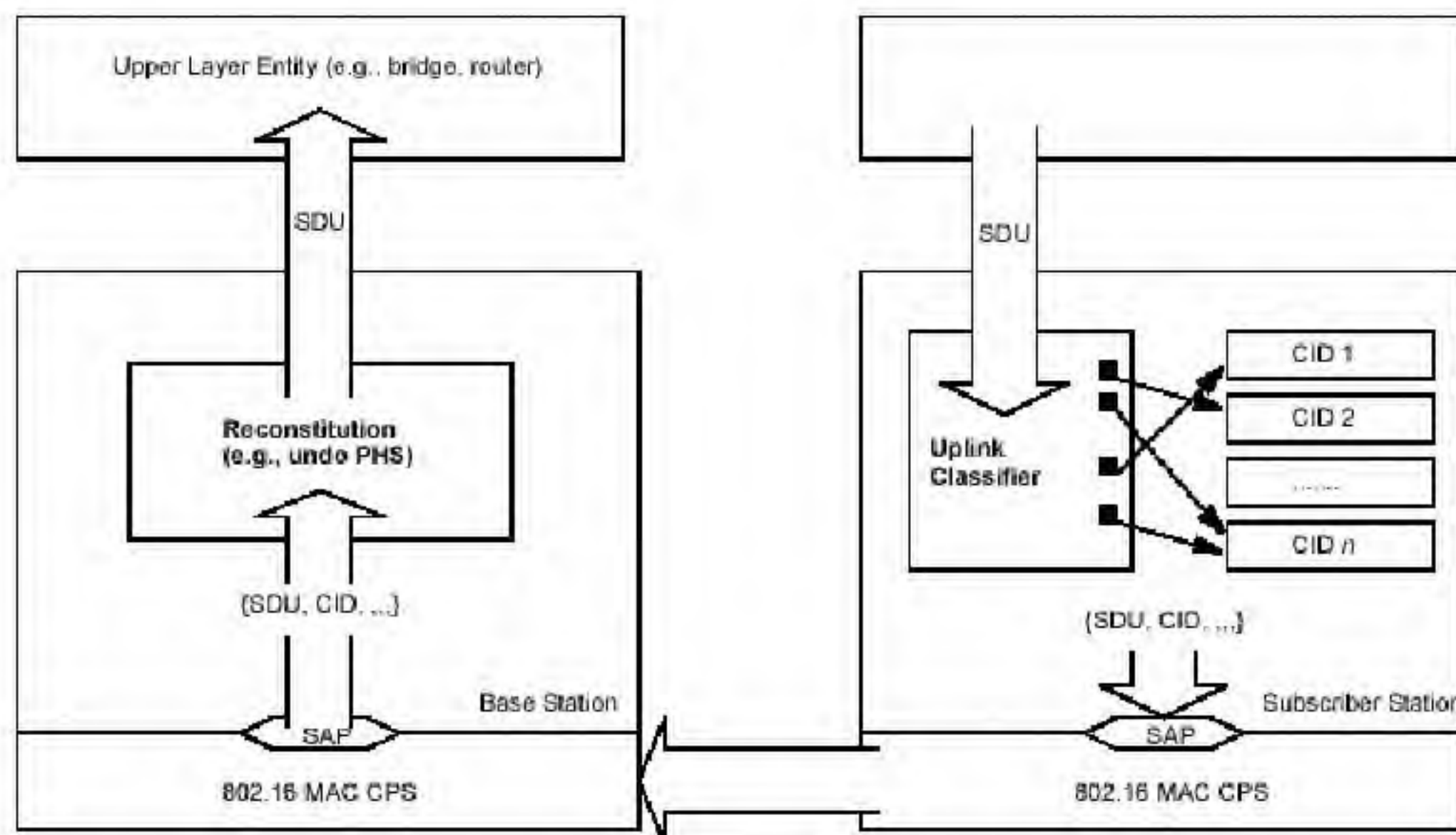


Figura 4.14 - Classificação e mapeamento de CID (SS para BS)

É possível que um pacote não cumpra os critérios definidos para todos os classificadores definidos. Nesse caso o CS pode associar o pacote com um CID por omissão ou rejeitar o pacote.

4.4.1.2.2 Classificação no CS

A classificação do pacote das SS e BS consistem em classificadores múltiplos. Cada classificador contém um campo de prioridade que determina a ordem da busca para o classificador. O classificador de prioridade mais elevada será aplicado em primeiro lugar. Se for encontrado um classificador em que todos os parâmetros combinam com o do pacote, o classificador enviará o pacote para a(s) conexão(s) correspondente(s). Se nenhum classificador for encontrado em que todos os parâmetros do pacote correspondam aos critérios definidos, o pacote será processado de acordo com as regras específicas definidas pelo fabricante ou pelo operador. Duas acções podem ser executadas: o pacote pode ser entregue usando uma conexão por omissão, ou o pacote pode ser rejeitado.

Os classificadores podem ser adicionados através de operações de gestão, via SNMP, ou podem ser adicionados através das operações dinâmicas.

Tipicamente, um pacote de dados do utilizador é enviado por um protocolo da camada superior para transmissão pela interface MAC. Na camada MAC o pacote é comparado com um conjunto de classificadores, sendo identificado o correspondente fluxo de serviço através do identificador de fluxo de serviço (SFID). No caso de haver mais de um classificador que corresponde ao pacote, o classificador da prioridade mais elevada é o escolhido.

4.4.2 Subcamada de parte comum (CPS)

Uma rede que utilize um meio partilhado requer um mecanismo que partilhe eficientemente esse meio. Uma rede sem fios ponto-a-multiponto bidireccional é um exemplo bom de um meio partilhado, em que o meio de transmissão é o espaço através de qual as ondas de rádio se propagam.

O canal descendente, da estação de base (BS) para ao utilizador (SS), opera no modo ponto-a-multiponto. A ligação sem fios IEEE 802.16 opera com um BS central e antenas sectorizadas capazes de assegurar sectores múltiplos independentes simultaneamente.

Num dado sector (multiplexagem espacial) e numa dada banda de frequência (multiplexagem em frequência), todas as estações recebem a mesma transmissão (multiplexagem temporal).

A estação de base (BS) é o único transmissor que opera no sentido downstream, assim pode transmitir sem ter que coordenar com outras estações, excepto no modo TDD em que tem que

dividir o tempo em períodos da transmissão ascendente e descendente. A BS transmite em difusão para todas as estações no sector (e frequência). As estações verificam o endereço nas mensagens recebidas e retêm somente aquelas dirigidas a elas.

No sentido ascendente, as estações dos utilizadores (SS) partilham o canal ascendente para a BS numa base de pedidos. Dependendo da classe de serviço utilizada, as SS podem ter adquirido direitos de transmissão contínuos, ou esses direitos de transmitir podem ser concedida pela BS após recepção de um pedido do utilizador.

Além das mensagens dirigidas individualmente, as mensagens podem também ser emitidas em conexões *multicast* (as mensagens do controle e a distribuição vídeo são exemplos de aplicações multicast), bem como transmissão a todas as estações (*broadcast*).

Dentro de cada sector, as SS aderem a um protocolo da transmissão que controla o acesso entre utilizadores e permite a configuração do serviço para o atraso e requisitos de débito de cada aplicação do utilizador. Isto é realizado através de cinco tipos diferentes de mecanismos de escalonamento ascendente, os quais são executados usando procedimentos de concessão (*grants*) de débito, escrutínio (*polling*), e disputa (*contention*). Estes mecanismos são definidos no protocolo para permitir a optimização do desempenho do sistema usando combinações diferentes destas técnicas na atribuição de débito, mantendo contudo definições consistentes de interoperabilidade entre diferentes implementações. Por exemplo, a disputa pode ser usada evitar o escrutínio individual de SSs que ficaram inactivos durante um longo período de tempo. A utilização de escrutínio simplifica a operação do acesso e garante que as aplicações recebem o serviço de uma base de uma forma determinística se for necessário. Em geral as aplicações de dados são tolerantes a atrasos, mas as aplicações de tempo real como a voz e o vídeo requerem o serviço de um modo mais uniforme e por vezes com um escalonamento muito estrito.

O MAC é orientado à conexão. Para efeitos de mapeamento dos serviços nas SSs e de associação de níveis de QoS, todas as transmissões de dados são efectuadas no contexto de uma conexão. Os fluxos de serviço podem ser provisionados quando as SS são instalados no sistema. Logo após o registo das SS, as conexões são associadas com estes fluxos de serviço (uma conexão por fluxo de serviço) para fornecer uma referência com base na qual se possa pedir débito.

Adicionalmente, novas conexões podem ser estabelecidas quando as necessidades do serviço de cliente mudam. Uma conexão define simultaneamente entre os processos da convergência entre entidades par que utilizam o MAC e um fluxo de serviço. O fluxo de serviço define os parâmetros de QoS para as PDUs que são trocadas na conexão. O conceito de um fluxo de serviço numa conexão é central na operação do protocolo MAC, pois fornecem mecanismos para a gestão de QoS ascendente e descendente e para a atribuição de débito. As SS pedem o débito ascendente com base em conexão (identificando implicitamente o fluxo de serviço). O débito é concedido pela BS quer como um agregado de todas as concessões para uma SS (dentro de um intervalo de escalonamento) ou com base numa conexão.

As conexões, uma vez que estabelecidas, podem requerer uma manutenção activa, podendo os requisitos de manutenção variar em função do tipo de serviço. Por exemplo, os serviços E1 integrais não requerem virtualmente manutenção da conexão pois têm um débito constante atribuída em cada trama. Os serviços T1 *channelized* requerem alguma manutenção devido aos requisitos de alteração dinâmica (mas com mudanças relativamente lentas) de débito. Os serviços IP podem requerer uma substancial manutenção em contínuo devido a sua natureza *bursty* e devido à forte possibilidade de fragmentação.

Finalmente, as conexões podem ser terminadas, o que ocorre geralmente somente quando um contrato de serviço do cliente é alterado. A terminação de uma conexão pode ser iniciada quer pela BS quer pela SS.

Todas estas três funções da gestão de conexão são suportadas usando configuração estática ou através da adição, da modificação, e do desligamento dinâmico das conexões.

4.4.2.1 Primitivas MAC

O MAC de IEEE 802.16 suporta as seguintes primitivas no SAP MAC:

```
MAC_CREATE_CONNECTION.request
MAC_CREATE_CONNECTION.indication
MAC_CREATE_CONNECTION.response
MAC_CREATE_CONNECTION.confirmation

MAC_CHANGE_CONNECTION.request
MAC_CHANGE_CONNECTION.indication
MAC_CHANGE_CONNECTION.response
MAC_CHANGE_CONNECTION.confirmation

MAC_TERMINATE_CONNECTION.request
MAC_TERMINATE_CONNECTION.indication
MAC_TERMINATE_CONNECTION.response
MAC_TERMINATE_CONNECTION.confirmation

MAC_DATA.request
MAC_DATA.indication
```

MAC_CREATE_CONNECTION.request

Esta primitiva é emitida por uma entidade CS numa unidade BS ou SS para pedir a adição dinâmica de uma conexão. Os parâmetros desta primitiva são os seguintes:

```
MAC_CREATE_CONNECTION.request
(
    scheduling service type,
    convergence sublayer,
    service flow parameters,
    payload header suppression indicator,
    length indicator,
    encryption indicator,
    Packing on/off indicator,
    Fixed-length or variable-length SDU indicator,
    SDU length (only needed for fixed-length SDU connections),
    CRC request,
    ARQ parameters,
    sequence number
)
```

Os tipos de escalonamento do serviço são os seguintes: Unsolicited grant service (UGS), real-time polling service (rtPS), non-real-time polling service (nrtPS), and best effort (BE) service.

O parâmetro CS indica que CS é usado para tratar os dados recebidos nesta conexão. Se o valor for zero, não será usado nenhum.

Os parâmetros do fluxo de serviço incluem informações do ritmo médio e de pico ou referência a um fluxo de serviço. Estes parâmetros são iguais aos da mensagem de gestão MAC de pedido da mudança do serviço.

O indicador da supressão de cabeçalho do payload especifica se o SDUs no fluxo de serviço deve ter os cabeçalhos suprimidos.

O indicador de ligar/desligar de empacotamento especifica se o empacotamento pode ser aplicado às SDUs MAC nesta conexão.

O indicador de comprimento fixo ou variável de SDU especifica se os SDUs no fluxo de serviço são de comprimento fixo ou variável.

O comprimento de SDU especifica o comprimento do SDU para um fluxo de serviço de comprimento fixo.

O indicador de cifra especifica que os dados emitidos sobre esta conexão devem ser encriptados (ON) ou não (OFF).

O valor de "on" do indicador de on/off de empacotamento significa que é permitido o empacotamento nesta conexão.

O pedido de CRC a ON significa que as MAC SDUs transportadas nesta conexão devem ter um CRC adicionado.

4.4.2.2 Formatos de PDU MAC

As unidades de dados de protocolo do MAC (MAC PDUs) têm o formato ilustrado na Figura 4.15. Cada PDU começa com um cabeçalho MAC genérico de tamanho fixo. O cabeçalho pode ser seguido pelo payload do PDU do MAC. Se presente, o payload consiste em zero ou mais subcabeçalhos e zero ou mais MAC SDUs e/ou fragmentos deles. A informação do payload pode variar em comprimento, de modo que um PDU do MAC pode representar um número variável de bytes. Isto permite que o MAC funcione como túnel de vários tipos de tráfego de nível superior sem ter conhecimento dos formatos ou dos padrões de bits dessas mensagens.

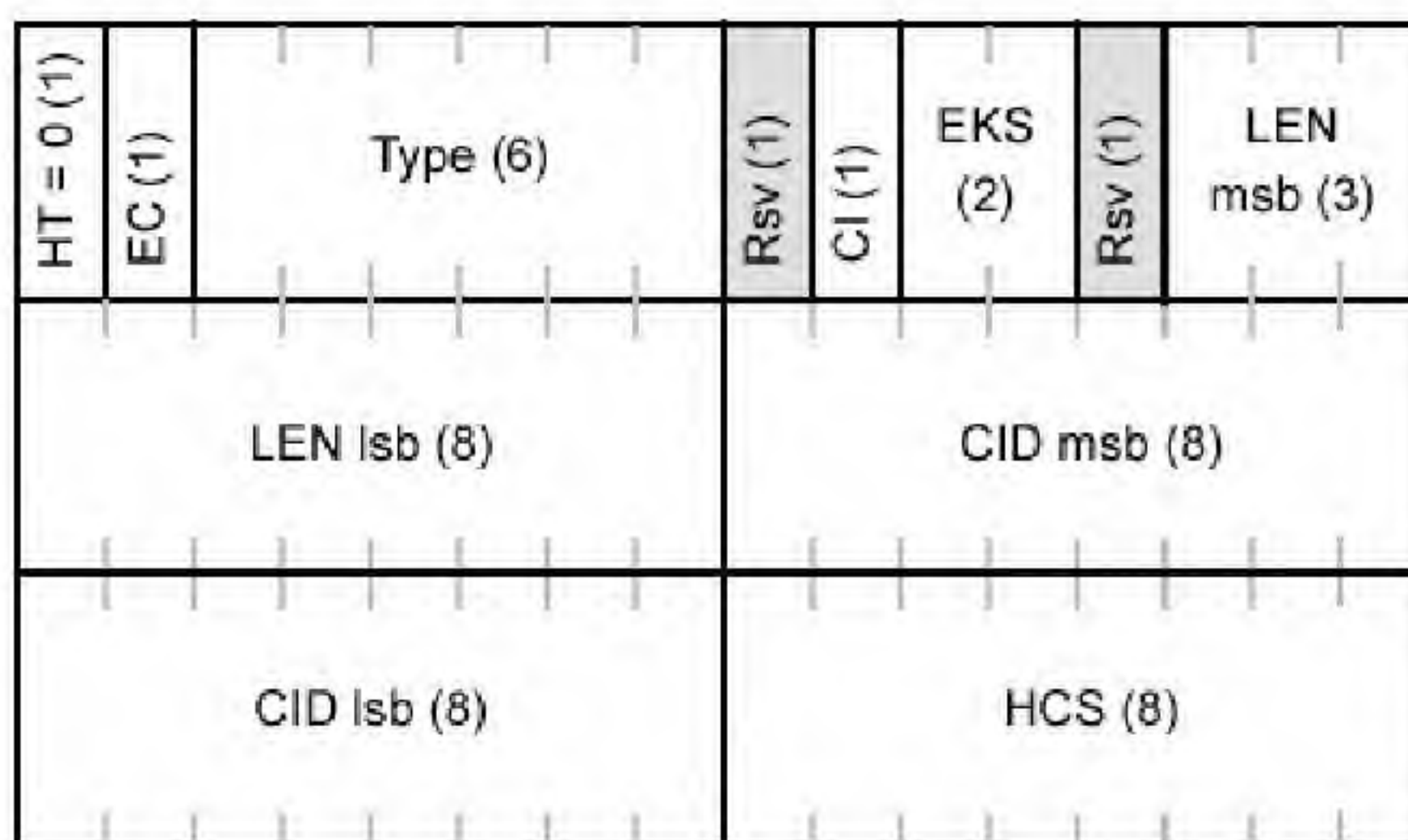
Generic MAC Header	Payload (opcional)	CRC (opcional)
--------------------	--------------------	----------------

Figura 4.15 - Formato de PDU MAC

Foram definidos dois formatos do cabeçalho do MAC:

- O primeiro é o cabeçalho genérico do MAC que inicia cada PDU MAC contendo mensagens da gestão do MAC ou dados do CS.
- O segundo é o cabeçalho de pedido de débito, usado para pedir débito adicional.

O campo de um bit *Header Type* (HT) do cabeçalho distingue os formatos genérico (HT=0) e de pedido de débito (HT=1). O cabeçalho genérico do MAC é ilustrado na figura seguinte.



HT - Header Type. Shall be set to zero.

CI - CRC Indicator. 1 = CRC appended to PDU

LEN - Length

HCS - Header Check Sequence

EC - Encryption Control 0 = Payload not encrypted

EKS - Encryption Key Sequence

CID - Connection Identifier

Figura 4.16 - Formato de cabeçalho MAC genérico

O PDU de pedido de débito consiste apenas de cabeçalho, não contendo payload, como é ilustrado na figura seguinte.

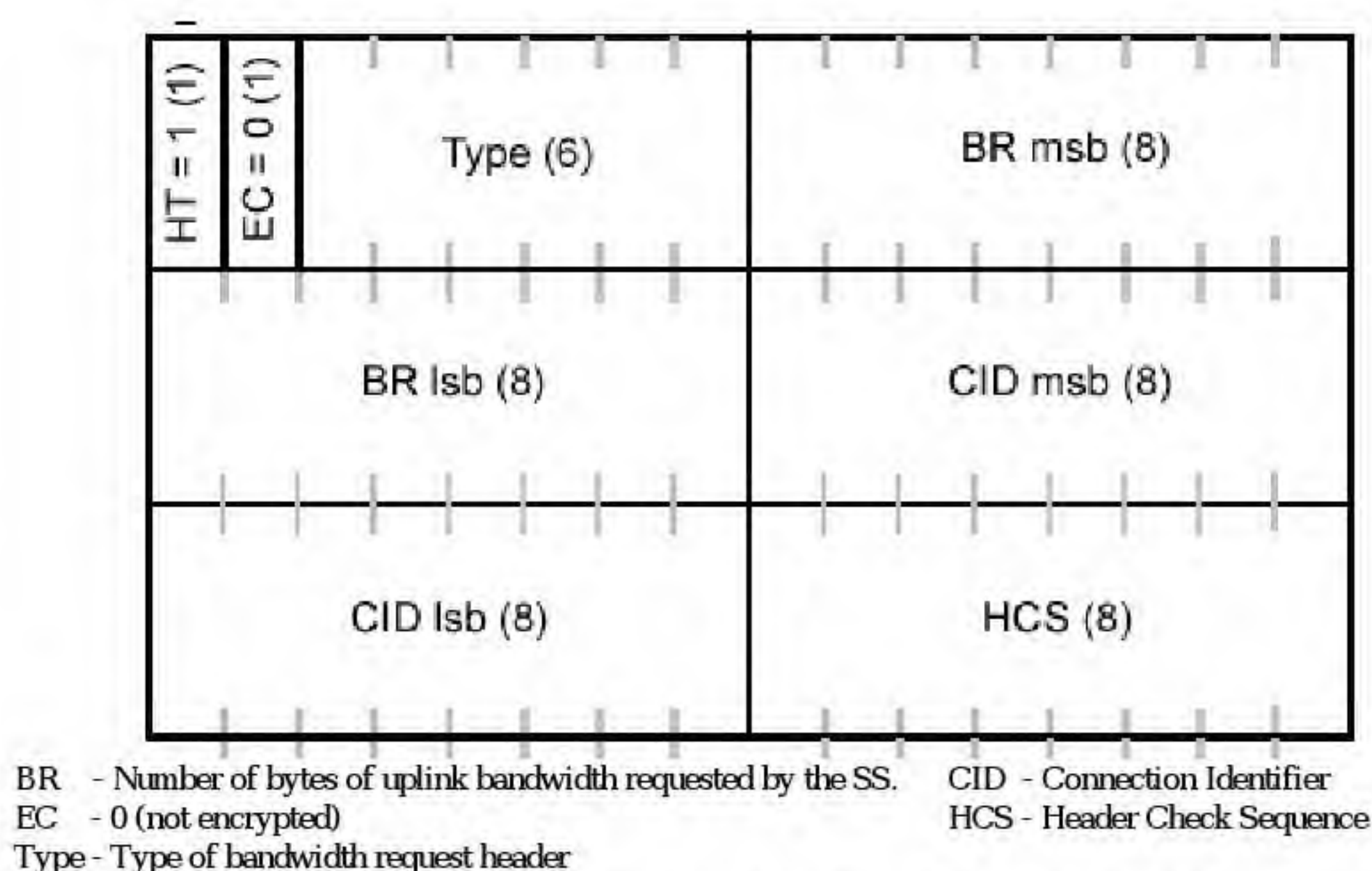


Figura 4.17 - Formato de cabeçalho de pedido de débito

Foram definidos três tipos de subcabeçalhos MAC:

- Subcabeçalho de fragmentação
- Subcabeçalho de gestão de Grant
- Subcabeçalho de empacotamento

Os subcabeçalhos por PDU (o subcabeçalho da fragmentação e os subcabeçalhos de gestão de Grant) podem ser inseridos nos MAC PDUs imediatamente depois do cabeçalho genérico do MAC se tal for indicado no campo *Type*. O único subcabeçalho de SDU é o subcabeçalho de empacotamento, o qual pode ser introduzido antes de cada MAC SDU se tal for indicado assim no campo *Type*. Os subcabeçalhos de empacotamento e de fragmentação são mutuamente exclusivos e não deverão estar ambos presentes no mesmo PDU MAC.

4.4.2.3 Mensagens de Gestão MAC

Foi definido um conjunto de mensagens de gestão do MAC, as quais são transportadas dentro do payload da PDU. Todas as mensagens MAC começam com um campo com o tipo de mensagem de gestão e podem conter campos adicionais. O formato da mensagem de gestão é mostrado na figura seguinte.



Figura 4.18 - Formato de mensagem de gestão MAC

A lista de mensagens de gestão MAC e respectiva codificação é mostrada na Tabela 8.1.

Tabela 4-2 - Mensagens de gestão MAC

Type	Message name	Message description	Connection
0	UCD	Uplink Channel Descriptor	Broadcast
1	DCD	Downlink Channel Descriptor	Broadcast
2	DL-MAP	Downlink Access Definition	Broadcast
3	UL-MAP	Uplink Access Definition	Broadcast
4	RNG-REQ	Ranging Request	Initial Ranging or Basic
5	RNG-RSP	Ranging Response	Initial Ranging or Basic

6	REG-REQ	Registration Request	Primary Management
7	REG-RSP	Registration Response	Primary Management
8	Reserved		
9	PKM-REQ	Privacy Key Management Request	Primary Management
10	PKM-RSP	Privacy Key Management Response	Primary Management
11	DSA-REQ	Dynamic Service Addition Request	Primary Management
12	DSA-RSP	Dynamic Service Addition Response	Primary Management
13	DSA-ACK	Dynamic Service Addition Acknowledge	Primary Management
14	DSC-REQ	Dynamic Service Change Request	Primary Management
15	DSC-RSP	Dynamic Service Change Response	Primary Management
16		DSC-ACK Dynamic Service Change Acknowledge	Primary Management
17	DSD-REQ	Dynamic Service Deletion Request	Primary Management
18	DSD-RSP	Dynamic Service Deletion Response	Primary Management
19		reserved for future use	
20		reserved for future use	
21	MCA-REQ	Multicast Assignment Request	Basic
22	MCA-RSP	Multicast Assignment Response	Basic
23	DBPC-REQ	Downlink Burst Profile Change Request	Basic
24	DBPC-RSP	Downlink Burst Profile Change Response	Basic
25	RES-CMD	Reset Command	Basic
26	SBC-REQ	SS Basic Capability Request	Basic
27	SBC-RSP	SS Basic Capability Response	Basic
28	CLK-CMP	SS network clock comparison	Broadcast
29	DREG-CMD	De/Re-register Command	Basic
30	DSX-RVD	DSx Received Message	Primary Management
31	TFTP-CPLT	Config File TFTP Complete Message	Primary Management
32	TFTP-RSP	Config File TFTP Complete Response	Primary Management
33-255		reserved for future use	

Na Figura 4.19 mostra-se a relação temporal entre o envio das mensagens de gestão MAC e as tramas de nível físico, relativa ao modo TDD. A informação no DL-MAP pertence à trama corrente (isto é, a trama em que foi recebido). A informação transportada no UL-MAP refere-se à trama seguinte.

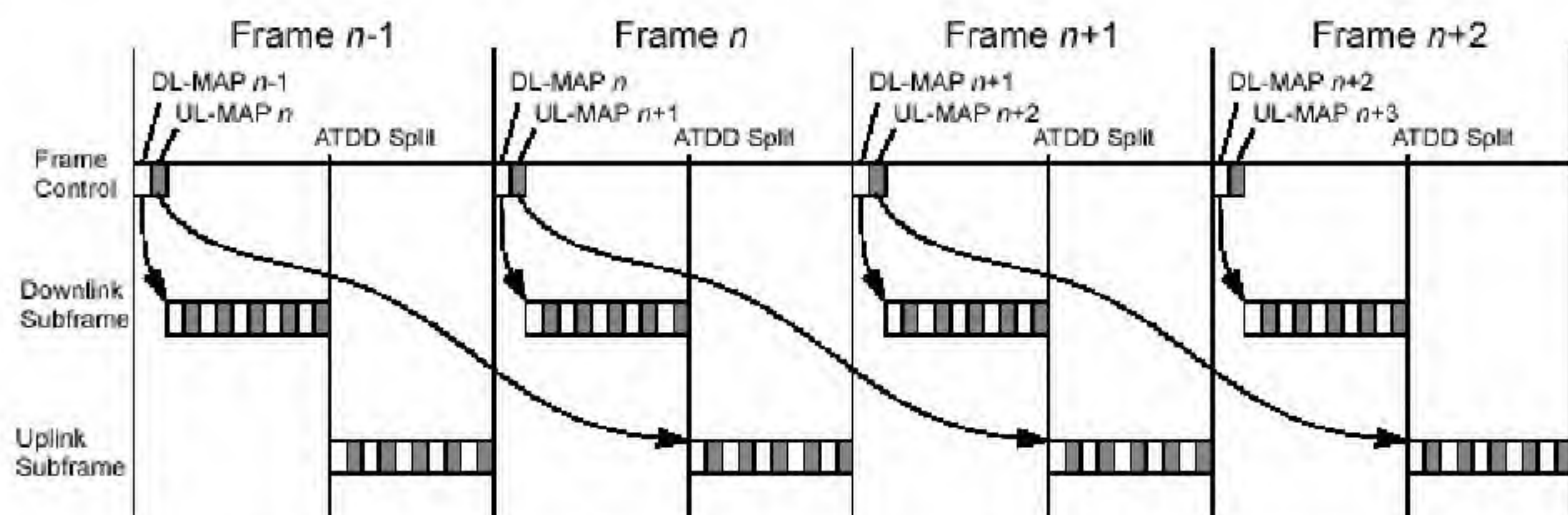


Figura 4.19— Relação temporal das mensagens de gestão MAC com o nível físico, em TDD

A figura seguinte mostra a relação temporal entre o envio das mensagens de gestão MAC e as tramas de nível físico, relativa ao modo FDD.

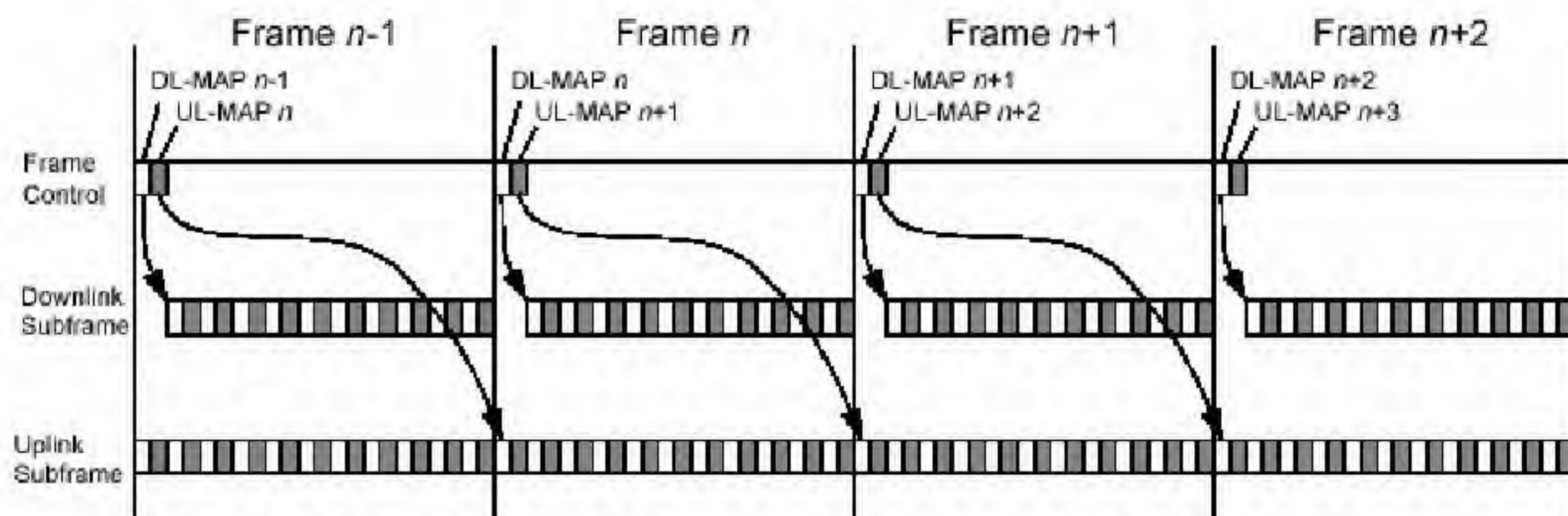


Figura 4.20— Relação temporal das mensagens de gestão MAC com o nível físico, em FDD

4.4.2.4 Serviço de escalonamento ascendente

Os serviços de escalonamento são projectados para melhorar a eficiência do processo de poll/grant. Especificando um serviço de escalonamento e seus parâmetros de QoS associados, a BS pode antecipar o *throughput* e a latência do tráfego ascendente efectuar polls e/ou grants nos instantes apropriados.

Os serviços básicos, tal como mostrado na Tabela 8.2, são os seguintes:

- Unsolicited Grant Service (UGS)
- Real-Time Polling Service (rtPS)
- Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)
- Best Effort (BE) service.

Cada serviço é configurado para um tipo específico de fluxo de dados. Na tabela seguinte listam-se os parâmetros de QoS associados a cada serviço de escalonamento ascendente.

Tabela 4-3 - Serviços de escalonamento e regras de utilização

Scheduling type	PiggyBack Request	Bandwidth stealing	Polling
UGS	Not Allowed	Not Allowed	PM bit is used to request a unicast poll for bandwidth needs of non-UGS connections
RtPS	Allowed	Allowed for GPSS	Scheduling only allows unicast polling.
NrtPS	Allowed	Allowed for GPSS	Scheduling may restrict a service flow to unicast polling via the transmission/request policy; otherwise all forms of polling are allowed.
BE	Allowed	Allowed for GPSS	All forms of polling allowed

GPSS - Grant per Subscriber Station mode (GPSS)

Definem-se em seguida os quatro serviços de escalonamento ascendente actualmente definidos.

Unsolicited Grant Service (UGS)

O serviço UGS foi projectado para suportar fluxos de serviço de tempo real que geram pacotes de dados de tamanho fixo numa base periódica, tal como T1/E1 e Voz sobre IP sem supressão de silêncio. O serviço oferece concessões fixas numa base periódica de tempo real, o que elimina o *overhead* e a latência dos pedidos das SS e assegura que as concessões estão disponíveis para satisfazer as necessidades de tempo real do fluxo. A BS fornecerá Data Grant Burst Types de tamanho fixo em intervalos periódicos ao fluxo de serviço. Para que este serviço funcione correctamente, a política de Request/Transmission é definida de modo a que as SS sejam proibidas de usar oportunidades de pedido de disputa e a BS não fornecerá nenhuma oportunidade de pedido unicast para essa conexão. Isto resulta as SS usarem somente os Data

Grant Burst Types não solicitados para transmissão ascendente nessa conexão. O UGS é especificado usando os seguintes parâmetros:

- Unsolicited Grant Size,
- Nominal Grant interval,
- Tolerated Grant Jitter
- Request/Transmission Policy.

O subcabeçalho de gestão de Grant é usado para enviar informação de status das SS para a BS relativo ao estado do fluxo de serviço de UGS. O bit mais significativo do campo de gestão de Grant é o bit do indicador do deslizamento (SI). As SS activam esta flag assim que detectam que este fluxo de serviço excedeu a capacidade da fila de transmissão, desactivando-a quando a fila voltar aos seus limites. Uma vez que as SS detectam que o fluxo de serviço transmite a fila estão para trás dentro dos limites, ele cancelarão a bandeira do SI. O bit poll-me pode ser usado para pedir para ser escrutinado para uma conexão diferente, diferente de UGS.

Real-Time Polling Service (rtPS)

O serviço rtPS foi projectado suportar serviços de fluxos de tempo real que geram pacotes de dados de tamanho variável numa base periódica, tal como o vídeo do MPEG. O serviço oferece oportunidades de pedidos unicast periódicos, de tempo real, para satisfazer as necessidades de tempo real do fluxo e que permitem que as SS especifiquem o tamanho da concessão desejada. Este serviço tem maior *overhead* que o UGS, mas suporta tamanhos de concessão variáveis para otimizar a eficiência de transporte dos dados.

A BS fornecerá oportunidades de pedidos unicast periódicos. Para que este serviço funcione correctamente, a política de Request/Transmission deverá proibir as SS de usar as oportunidades do pedido da disputa para essa conexão.

A BS pode emitir oportunidades do pedido unicast tal como previstas por este serviço mesmo se concessão estiver pendente, de que resulta que as SS usem somente oportunidades do pedido unicast a fim de obterem oportunidades da transmissão ascendente (as SS podem também usar unsolicited Grant Burst Type para transmissão ascendente). Os elementos de informação chave do serviço são:

- Nominal Polling Interval,
- Tolerated Poll Jitter,
- Request/Transmission Policy.

Non-Real-Time Polling Service (nrtPS)

O serviço nrtPS foi projectado para suportar os fluxos de serviço não tempo real, que requerem Data Grant Bursts de tamanho variável numa base regular, tal como o FTP de débito elevado. Este serviço oferece escrutínios unicast numa base regular, o que assegura que o fluxo recebe oportunidades de pedido mesmo durante congestionamentos da rede. A BS tipicamente escrutina os CIDs nrtPS em intervalos (periódicos ou não-periódicos) na ordem de um segundo ou menos.

A BS fornece oportunidades do pedido do unicast adequadas no tempo. Para que este serviço funcione correctamente, a política de Request/Transmission deve permitir que as SS usem oportunidades de pedido da disputa, de que resulta que as SS possam também usar oportunidades de pedido de disputa e unsolicited Data Grant Burst. Os elementos chaves do serviço são:

- Nominal Polling Interval,
- Minimum Reserved Traffic Rate,
- Maximum Sustained Traffic Rate,
- Request/Transmission Policy,

- Traffic Priority.

Best Effort service (BE)

O objectivo do serviço BE é fornecer um serviço eficiente ao tráfego de melhor esforço (*best effort*). Para que este serviço funcione correctamente, a política de Request/Transmission deve permitir que as SS usem oportunidades de pedido de disputa, de que resulta que as SS possam também usar oportunidades de pedido de disputa e oportunidades de pedido unicast de unsolicited Data Grant Burst. Os elementos chaves do serviço são:

- Minimum Reserved Traffic Rate,
- Maximum Sustained Traffic Rate,
- Traffic Priority.

4.4.2.5 Bandwidth allocation and request mechanisms

Na fase de registo a cada SS são atribuídos três CIDs dedicados com a finalidade de emitir e de receber mensagens do controlo. São usadas três conexões permitir que níveis de QoS diferenciados sejam aplicados às diferentes conexões que transportam tráfego de gestão do MAC.

O aumento ou diminuição dos requisitos de débito é necessário para todos os serviços excepto para as conexões de ritmo constante UGS “incompressíveis”, as quais não variam entre o estabelecimento da conexão e a terminação. As exigências das conexões UGS “compressíveis”, tais como o T1 *channelized*, podem aumentar ou diminuir dependendo do tráfego. Aos serviços *Demand Assigned Multiple Access* (DAMA) são dados recursos baseados na procura, em função das necessidades que surgem.

Quando um SS necessita de pedir débito numa conexão BE, emite uma mensagem para a BS contendo as exigências imediatas da conexão DAMA. O QoS da conexão foi estabelecido no estabelecimento da conexão e é supervisionado pela BS.

Há vários modos através dos quais as SS podem pedir débito às BS, que analisaremos em seguida.

Requests

Requests referem-se ao mecanismo que as SS usam para indicar à BS que necessitam de atribuição de débito ascendente. Um Request pode chegar com Bandwidth Request Header autónomo ou como um PiggyBack Request. Devido ao facto de o perfil do burst ascendente poder mudar dinamicamente, todos os pedidos para débito serão feitos em termos do número de bytes necessários para transporte do cabeçalho do MAC e do payload, mas não do overhead do nível físico.

Os pedidos de débito podem ser incrementais ou agregados. Quando a BS recebe um pedido de débito incremental, adiciona a quantidade de débito pedida à sua percepção actual das necessidades de débito da conexão. Quando a BS recebe um pedido de débito agregado, substitui a sua percepção das necessidades de débito da conexão com a quantidade de débito pedida. O campo Type no cabeçalho do pedido de débito indica se o pedido é incremental ou agregado. Como os pedidos de débito Piggybacked não têm um campo do tipo, só podem ser incrementais. A natureza auto-correctora do protocolo de request/grant requer que as SSs usem periodicamente pedidos de débito agregados, em que o período pode ser uma função do QoS de um serviço e da qualidade da ligação. Devido à possibilidade de colisões, os pedidos de débito transmitidos em broadcast ou multicast devem ser pedidos agregados.

Relativamente à concessão do débito pedido, há duas modalidades de operação para SSs:

- Concessões por conexão (Grant per Connection mode, GPC) e
- Concessões por estação de subscritor (Grant per Subscriber Station mode, GPSS).

No primeiro caso, a BS concede o débito explicitamente a cada conexão, enquanto que no segundo caso o débito é concedida a todas as conexões que pertencem à SS. O segundo caso, GPSS, permite mapas ascendente (UL) menores e permite que SSs mais inteligentes tomem decisões relativas à utilização do débito de modo diferente do que foi concedido originalmente pela BS, o que pode ser útil para as aplicações de tempo real que requerem uma resposta mais rápida do sistema. Os sistemas que usam a especificação PHY 10-66 GHz deverão usar o modo GPSS.

Grants per connection (GPC) mode

Para um SS no modo GPC, os pedidos de débito são dirigidos explicitamente a CIDs individuais. Como não é possível saber qual o pedido está a ser satisfeito num dado instante, se as SS receberem uma oportunidade de transmissão mais curta do que a esperada (por decisão do escalonador, devido a mensagem de pedido perdida, etc.), nenhuma razão explícita é dada. Com base na informação mais recente da BS e do estado do pedido, as SS podem decidir fazer novo pedido ou rejeitar o MAC SDU. Um GPC SS pode usar IE de pedidos broadcast, dirigidos a um grupo multicast de que são membros ou dirigidos a CID unicast que represente um fluxo de serviço que pertence àquele SS.

Grants per subscriber station (GPSS) mode

Para as SS que operam no modo GPSS, os pedidos de débito estão dirigidos às conexões individuais quando a concessão de débito for dirigida ao CIDs básico das SS e não explicitamente a CIDs individual. Tal como no caso anterior, como não é possível saber qual o pedido está a ser satisfeito num dado instante, se as SS receberem uma oportunidade de transmissão mais curta do que a esperada (por decisão do escalonador, devido a mensagem de pedido perdida, etc.), nenhuma razão explícita é dada. Com base na informação mais recente da BS e do estado do pedido, as SS podem decidir fazer novo pedido ou rejeitar o MAC SDU. Um GPSS SS pode usar IE de pedidos broadcast, dirigidos a um grupo multicast de que são membros ou dirigidos a CID unicast que represente um fluxo de serviço que pertence àquele SS.

Polling

Polling (escrutínio) é o processo pelo qual a BS atribui débito às SSs especificamente com a finalidade de fazer pedidos de débito. Estas atribuições podem ser para SSs individuais ou a grupos de SSs. As atribuições a grupos de conexões e/ou a SSs na realidade definem IEs de pedido de débito com disputa. As atribuições não são feitas sob a forma de uma mensagem explícita, mas sim sob a forma de uma série de IEs dentro do mapa ascendente. Note-se que o escrutínio é feito com base na SS ou com base na conexão. O débito é sempre pedido com base num CID e o débito é atribuído com base numa conexão (modo GPC) ou com base nas SS (modo GPSS).

Unicast

Quando as SS são escrutinados individualmente, não é transmitida nenhuma mensagem explícita, em vez disso é atribuída à SS, no mapa ascendente, débito suficiente para esta responder com um pedido de débito. Se a SS não necessitar de débito, retorna bytes de *stuff* (0xFF). As SSs operando no modo GPSS que tenham uma conexão activa UGS de débito suficiente não são escrutinadas individualmente a menos que activem o bit *Poll Me* (PM) no cabeçalho de um pacote na conexão UGS. Isto poupa débito em relação ao escrutínio de todas as SSs individualmente. Note-se que o escrutínio unicast de uma GPSS SS seria normalmente feito por cada SS, atribuindo um Data Grant IE dirigido ao seu CID básico.

Multicast and broadcast

Se não houver débito insuficiente para escrutinar individualmente muitas SSs inactivas, algumas SSs podem ser emitidos escrutínios em grupos multicast ou broadcast. Determinados CIDs são reservados para grupos multicast ou para mensagens de broadcast. Tal como com os escrutínios individuais, a escrutínio não é uma mensagem explícita mas sim débito atribuído no mapa ascendente. A diferença é que, em vez de associar o débito a um CID básico de um SS, a atribuição é a um CID multicast ou broadcast.

4.4.2.6 Resolução de colisão

A BS controla as atribuições no canal ascendente através das mensagens do UL-MAP e determina que minislots são sujeitos a colisões. As colisões podem ocorrer durante a manutenção inicial e nos intervalos de pedidos definidos pelos respectivos IEs. A potencial ocorrência de colisões em intervalos de pedidos é dependente do CID no IE respectivo. Descreve-se em seguida a transmissão ascendente e a resolução de colisões, referindo-se para facilitar a descrição às decisões tomadas pelas SS. Como as SS podem ter múltiplos fluxos de serviço ascendente (cada um com o seu próprio CID), estas decisões são tomadas com base no CID ou na QoS do serviço.

O método obrigatório de definição de resolução de colisões é baseado num backoff exponencial binário truncado, com a janela inicial do backoff e a janela máxima do backoff controladas pela BS. Os valores são especificados na mensagem UCD e representam uma potência de 2. Para exemplo, um valor de 4 indica uma janela entre 0 e 15; um valor de 10 indica uma janela entre 0 e 1023. Quando uma SS tem informação para enviar e quer entrar no processo de disputa, ajusta a sua janela interna de backoff para o valor inicial de backoff do pedido, definida no UCD Count na mensagem UCD no UL-MAP em curso.

As SS seleccionarão aleatoriamente um número dentro da sua janela do backoff. Este valor aleatório indica o número das oportunidades da transmissão da disputa que as SS adiarão antes de transmitir. As SS considerarão somente as oportunidades da transmissão da disputa para que esta transmissão seria elegível, as quais são definidas pelo pedido de IEs nas mensagens do UL-MAP. Note-se que cada IE pode conter múltiplas oportunidades de transmissão de disputa.

Usando pedidos de débito como um exemplo, considere umas SS cuja janela inicial do backoff é de 0 a 15 e suponha-se que selecciona aleatoriamente o número 11. Em consequência a SS deve adiar um total de 11 oportunidades da transmissão da disputa. Se o primeiro IE de pedido disponível for para 6 pedidos, a SS não usa este e tem mais 5 oportunidades de adiamento. Se o IE de pedido seguinte for para 2 pedidos, a SS tem mais 3 para adiar. Se o terceiro IE de pedido for para 8 pedidos, a SS transmite na quarta oportunidade, após adiar 3 oportunidades. Após uma transmissão de disputa, a SS espera por um Data Grant Burst num mapa subsequente, o qual uma vez recebido completa o processo de disputa.

A SS deverá considerar a transmissão em disputa perdida se nenhuma concessão de dados for dada numa temporização pré-definida (T16). A SS deverá então aumentar sua janela do backoff por um factor de dois, desde esta seja inferior à janela máxima do backoff. A SS seleccionará um número aleatório dentro da sua nova janela de backoff e repetirá o processo de adiamento de transmissão acima descrito.

Este processo de tentativas continua até que o número máximo de tentativas seja alcançado, após o que o PDU será rejeitado. Para pedidos de débito, se a SS receber um IE de pedido unicast ou um Data Grant Burst no mesmo CID em que está em espera, parará o processo de resolução de colisão e usará a oportunidade explícita de transmissão.

A BS tem muita flexibilidade no controlo da resolução de colisões. Por um lado a BS pode escolher o início e o fim da janela de Backoff, por exemplo para emular o backoff da Ethernet, com a sua simplicidade e modo distribuído, bem como a sua justiça de acesso e eficiência. Isto seria feito fazendo Backoff Start = 0 e Backoff End = 10 na mensagem de UCD. Por outro lado a BS pode fazer a Backoff Start e Backoff End iguais actualizar frequentemente estes valores na

mensagem de UCD de modo a que todas as SS usem a mesma janela de backoff, o que pode otimizar a transmissão.

Oportunidades de Transmissão

Uma oportunidade da transmissão é definida como um minislots em que é permitido a uma SS começar uma transmissão. O número de oportunidades da transmissão associadas com um IE particular num mapa é dependente do tamanho total do intervalo e do tamanho de uma transmissão individual.

Considere-se como exemplo pedidos de débito baseados em disputa num sistema em que o nível físico defina uma duração de trama de 1 ms, 4 símbolos para cada PS, 2 PSs por cada minislots, um preâmbulo ascendente de 16 símbolos (isto é, 2 minislots), e um intervalo entre SS de 24 símbolos (isto é, 3 minislots). Assumindo uma modulação QPSK, cada oportunidade da transmissão requer 8 minislots: 3 para a transição entre SS, 2 para o preâmbulo, e 3 para a mensagem de pedido de débito. Se a BS escalonar um IE de pedido para, por exemplo, 24 minislots, haverá três oportunidades da transmissão neste IE, tal como mostrado na Figura 4.21.

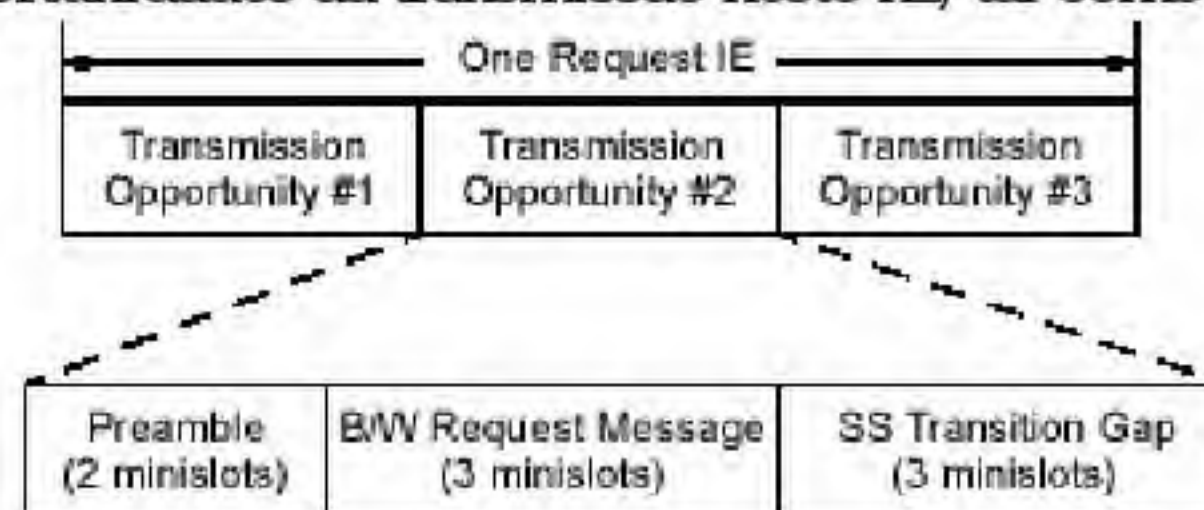


Figura 4.21 - Exemplo de IE de pedido com oportunidades de transmissão múltiplas

4.4.2.7 Qualidade de Serviço

A norma IEEE 802.16 define diversos conceitos relacionados com QoS, incluindo os seguintes:

- Escalonamento de QoS dos fluxos de serviço
- Estabelecimento de serviços dinâmicos
- Modelo de activação de duas fases.

Os vários mecanismos do protocolo descritos atrás podem ser usados para suportar QoS quer para tráfego ascendente quer para descendente com as SS e a BS. Faz-se em seguida uma análise genérica dos mecanismos do protocolo de QoS. Os requisitos de QoS incluem:

- Uma função da configuração e de registo para pré-configuração dos fluxos do serviço com QoS e parâmetros de tráfego baseados em SS.
- Uma função de sinalização para estabelecimento dinâmico de fluxos de serviço com QoS e parâmetros de tráfego.
- Utilização de parâmetros de escalonamento de MAC e de tráfego de QoS para fluxos do serviço ascendente.
- Utilização de parâmetros do tráfego de QoS para fluxos de serviço descendente.
- Agrupamento de propriedades de fluxo de serviço em Classes de Serviço, de modo a que entidades da camada superior e aplicações externas (nas SS e BS) possam pedir fluxos de serviço com os parâmetros de QoS desejados de um modo consistente e genérico.

O mecanismo principal para fornecer QoS consiste na associação dos pacotes que atravessam a interface MAC a um fluxo de serviço identificado pelo CID. Um fluxo de serviço é um fluxo unidireccional de pacotes que é fornecido com um QoS específico. As SS e as BS fornecem este QoS de acordo com o conjunto de parâmetro de QoS definido para o fluxo de serviço.

O objectivo principal das características de qualidade de serviço definidas aqui é definir a ordem de transmissão e de escalonamento na interface aérea. Contudo, estas características em geral necessitam de trabalhar em conjunto com mecanismos que ultrapassam a interface aérea, a fim de fornecer QoS extremo a extremo ou policiar o comportamento das SSs. Os fluxos de serviço existem em ambos os sentidos, ascendente e descendente, e podem existir sem realmente serem ativados para transporte de tráfego. Todos os fluxos de serviço têm um identificador de 32 bit denominado identificador do fluxo de serviço (*Service Flow Identifier*, SFID). Os fluxos de serviço activos têm também um CID de 16 bit.

Fluxos de Serviço

Um fluxo de serviço (*service flow*) é um serviço de transporte da camada MAC que fornece o transporte unidireccional de pacotes, quer aos pacotes ascendente transmitidos pelas SS ou aos pacotes descendente transmitidos pelas BS. Um fluxo de serviço é caracterizado por um conjunto de parâmetros de QoS tais como latência, *jitter* e garantias do *throughput*. A fim de normalizar a operação entre as SS e a BS, estes atributos incluem detalhes de como as SS podem pedir mini-slots ascendente e o comportamento previsto do escalonador ascendente da BS.

Um fluxo de serviço é caracterizado parcialmente pelos seguintes atributos:

- *Service Flow ID*: Um SFID é atribuído a todos os fluxos de serviço existentes. O SFID é utilizado como o identificador principal nas SS e na BS para o fluxo de serviço. Um fluxo de serviço existente tem pelo menos um SFID e um sentido associado.
- *Connection ID*: Mapeamento a um SFID existente, só quando a conexão tiver um fluxo de serviço admitido.
- *ProvisionedQoSParamSet*: Um conjunto de parâmetros de QoS provisionado através de meios fora do âmbito desta norma, tal como o sistema de gestão da rede.
- *AdmittedQoSParamSet*: Define um conjunto de parâmetros de QoS para os quais as BS (e possivelmente as SS) reservam recursos. O recurso principal a ser reservado é o débito, mas isto também inclui qualquer outro recurso de memória ou temporal requerido para activar posteriormente o fluxo.
- *ActiveQoSParamSet*: Define o conjunto de parâmetros de QoS que definem o serviço que efectivamente está a ser fornecido ao fluxo de serviço. Somente um fluxo de serviço activo pode enviar pacotes.
- *Authorization Module*: Uma função lógica da BS que aprova ou rejeita qualquer mudança dos parâmetros e classificadores de QoS associados com um fluxo de serviço. Como tal ele define um "envelope" que limita os possíveis valores do *AdmittedQoSParamSet* e do *ActiveQoSParamSet*.

O *ActiveQoSParamSet* é sempre um subconjunto do *AdmittedQoSParamSet*, que é sempre um subconjunto do "envelope" autorizado. No modelo de autorização dinâmico este envelope é determinado pelo módulo de autorização (etiquetado como o *AuthorizedQoSParamSet*). No modelo da autorização provisioned este envelope é determinado pelo *ProvisionedQoSParamSet*.

Os fluxos do serviço podem ser classificados em três estados:

a) **Provisionado**: Este tipo de fluxo de serviço é conhecido através de provisionamento, por exemplo através do sistema de gestão da rede. Os seus parâmetros *AdmittedQoSParamSet* e *ActiveQoSParamSet* são ambos zero.

b) **Admitido**: Este tipo de fluxo de serviço tem recursos reservados pelo BS para o seu *AdmittedQoSParamSet*, mas estes parâmetros não estão activos (o seu *ActiveQoSParamSet* é nulo). Os fluxos de serviço admitidos podem ter sido provisionados ou podem ter sido sinalizados por um outro mecanismo.

c) **Activo**: Este tipo de fluxo de serviço tem os recursos atribuídos pela BS para o seu *ActiveQoSParamSet* (por exemplo, está a emitir mapas contendo concessões não solicitadas para um fluxo de serviço UGS). O seu *ActiveQoSParamSet* é não nulo.

4.4.3 Subcamada de Privacidade

A subcamada de privacidade (*privacy*) fornece aos subscritores da rede privacidade na rede fixa sem fios de banda larga, através de encriptação das conexões entre as SS e a BS. Para além disso, a privacidade fornece aos operadores forte protecção contra roubo do serviço, uma vez que a BS fornece protecção contra acessos não autorizados a estes serviços de transporte dos dados através da encriptação dos fluxos de serviço através da rede. A privacidade utiliza um protocolo de gestão de chaves cliente/servidor autenticado, em que a BS, o servidor, controla a distribuição da informação relativa às chaves às SS clientes. Adicionalmente, os mecanismos básicos da privacidade são reforçados adicionando autenticação baseada em certificados digitais ao seu protocolo de gestão de chaves.

A subcamada de privacidade tem dois protocolos componentes que são:

1. Um protocolo de encapsulamento para encriptação dos pacotes de dados através da rede de acesso fixo sem fios. Este protocolo define (1) um conjunto das suites de criptografia suportadas, isto é, de pares de algoritmos de encriptação e de autenticação de dados, e (2) as regras para aplicar aqueles algoritmos ao payload dos PDU MAC.
2. Um protocolo de gestão de chaves (Privacy Key Management, ou PKM) que fornece a distribuição segura de chaves da BS às SS. Através deste protocolo as SS e a BS sincronizam os dados relativos às chaves; para além disso a BS usa o protocolo para reforçar o acesso condicional aos serviços de rede.

Os serviços de encriptação são definidos como um conjunto das capacidades da subcamada de privacidade do MAC. A informação específica de encriptação é inserida no formato genérico do cabeçalho do MAC. A encriptação é aplicada sempre ao payload do PDU do MAC, o cabeçalho genérico do MAC não é encriptado. Todas as mensagens de gestão do MAC serão enviadas em claro para facilitar o registo, *ranging* e operação normal da subcamada MAC.

As SS usam o protocolo PKM para obter autorização e enviar dados relativos a chaves da BS, e suportar re-autorizações periódicas e refrescamento de chaves. O PKM usa o protocolo X.509 (RFC 2459) de gestão de certificados digitais, o algoritmo de encriptação da chave pública de RSA e algoritmos simétricos fortes para efectuar trocas da chave entre SS e BS. O protocolo PKM segue um modelo cliente/servidor, em que a SS, um "cliente" PKM, pede informação da chave e a BS, um PKM "servidor," responde aqueles pedidos, assegurando que cada cliente SS individual recebe somente a informação da chave para que está autorizada. O protocolo PKM utiliza as mensagens de gestão do MAC, as mensagens PKM-REQ e PK-RSP.

O protocolo PKM usa criptografia de chave pública para estabelecer um segredo partilhado (isto é, uma chave de autorização) entre SS e BS. O segredo partilhado é então usado para assegurar trocas PKM subsequentes de chaves de encriptação. Este mecanismo de dois níveis para a distribuição de chave permite refrescar as chaves de encriptação sem ter o overhead de operações de chaves públicas, que são computacionalmente intensivas.

Referências

- [1] William Webb, "Introduction to Wireless Local Loop", Artech House, 1998
- [2] ETSI EN 301 253 V1.2.1, "Multiple Access (FH-CDMA). Point-to-multipoint digital radio systems in frequency bands in the range 3 GHz to 11 GHz", February 2001.
- [3] ETSI TR 101 205, "LMDS Base Station and User Terminal Implementation Guidelines for ETSI EN 301 199, July 2001.
- [4] ETSI EN 301199, "Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for Local Multi-point Distribution Systems (LMDS), 1999.
- [5] John Phillips, Gerard Mac Namee, "Personal Wireless Communication with DECT and PWT", Artech House, 1998.
- [6] Siemens AG, DECT link - Cost-Effective and Efficient Wireless Access", 1999.
- [7] IEEE 802.16 - "Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", December 2001.
- [8] WiMAX Forum <http://www.wimaxforum.org>

Acrónimos

ACK	Acknowledge
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BE	Best Effort
BIM	Broadcast Interface Module
BS	Base Station
CCS	Central Controller Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CID	Connection Identifier
CLP	Cell Loss Priority
CPS	Common Part Sublayer
CRC	Cyclic redundancy check
CRS	Central Radio Station
CS	Central Station / Convergence Sublayer
CTA	Cordless Terminal Adapter
DAMA	Demand Assigned Multiple Access
DBPC	Downlink Burst Profile Change
DCS	Digital Cellular System
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DSA	Dynamic Service Addition
DSC	Dynamic Service Change
DSD	Dynamic Service Deletion
DVB	Digital Video Broadcasting
EC	Encryption Control
EKS	Encryption Key Sequence
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FDD	Frequency Division Duplexing
FEC	Forward Error Correction
FTP	File Transfer Protocol
FH	Frequency Hopping
FIP	Forward Interaction Path
FRA	Fixed Radio Access
FWA	Fixed Wireless Access
GPC	Grants per Connection
GPSS	Grants per Subscriber Station
GSM	Global system for Mobile Communications
HCS	Header Check Sequence
HEC	Header Error Check
HT	Header Type
IE	Information Element
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IIM	Interactive Interface Module
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LMDS	Local Multi-point Distribution System
LOS	Line-of-Sight
MAC	Medium Access Control
MCA	Multicast Assignment Request
MPEG	Moving Picture Experts Group
NIU	Network Interface Unit
NNI	Network Node Interface
nrtPS	Non-Real-Time Polling Service
NT	Network Termination
NTP	Network Termination Point
PDU	Protocol Data Unit
PHS	Payload header suppression
PHSI	Payload header suppression index
PHY	Physical

PKCS	Public-Key Cryptography Standards
PKM	Privacy Key Management
PM	Phase modulation
PMD	Physical Medium Dependent
PPCA	Posto Privado de Comutação Automático
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTI	Payload Type Indicator
PS	Physical Slot
PWT	Personal Wireless Telecommunications
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature phase shift keying
RAP	RLL Access Profile
RBS	Radio Base Station
REQ	Request
REG	Registration
RES	Reset
RF	Radio Frequency
RFA	Radio Fixed Access
RLL	Radio in the Local Loop
RNG	Ranging
RDIS	Rede Digital com Integração de Serviços
RSP	Response
RS	Repeater Station / Reed Solomon
RT	Radio Termination
rtPS	Real-Time Polling Service
SAP	Service access point
SBC	SS Basic Capability
SDU	Service Data Unit
SF	Start Field
SFID	Service Flow Identifier
SI	Slip Indicator
SNMP	Simple Network Management Protocol
SS	Subscriber Station
STB	Set Top Box
STU	Set Top Unit
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Terminal Equipment
TS	Terminal Stations / Transport Stream
UCD	Uplink Channel Descriptor
UGS	Unsolicited Grant Service
UMTS	Universal Mobile Telephony System
UNI	User Network Interface
VC	Virtual Circuit
VCI	Virtual Circuit Identifier
VP	Virtual Path
VPI	Virtual Path Identifier
WiLL	Wireless local loop
WLL	Wireless local loop
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access